



北大版·高职高专土建系列规划教材

21世纪全国高职高专土建**立体化**系列规划教材

数字测图技术国家级精品课程配套材料

浙江省高校重点教材建设项目

# 数字测图技术

SHUZI CETU JISHU

主 编 赵 红



- ◎ 按照项目化、任务化的组织形式，突出了技能训练的职业教育特点
- ◎ 培养测绘行业具备数字测图理论、知识和技能的高等技术应用型人才



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

## 说 明

本书版权属于北京大学出版社有限公司。版权所有，侵权必究。

本书电子版仅提供给高校任课教师使用，如有任课教师需要本书课件或其他相关教学资料，请联系北京大学出版社客服，微信手机同号：15600139606，扫下面二维码可直接联系。

由于教材版权所限，仅限任课教师索取，谢谢！





21 世纪全国高职高专土建立体化系列规划教材  
数字测图技术国家级精品课程配套教材  
浙江省高校重点教材建设项目

# 数字测图技术

主 编 赵 红  
副主编 钟祖民 黄伟朵 杨一挺  
参 编 毛迎丹 江金霞  
主 审 吕 慧



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

# 第一篇

## 基础篇

北京大学出版社版权所有  
禁止转载

# 项目1

## 测量基础知识

### 教学目标

通过对测绘学的任务及作用的学习,了解测绘学的任务及作用、测绘学科的分类及数字测图的历史发展,明确本课程的学习内容、学习方法及要求。通过对测量基准面、坐标系、测量工作内容及基本原则的学习,掌握测量工作的基准面、基准线;掌握测量坐标系及地面点的确定;掌握测量的三要素及基本工作的内容;掌握测量工作应遵循的程序、原则及地球曲率对测量工作的影响;掌握比例尺的概念和比例尺精度的意义;掌握地形图分幅与编号的方法;掌握地物、地貌概念与表示方法,以及等高线特性,能进行地形图的识读。

### 教学要求

能力目标	知识要点	权重
了解测绘学的任务、作用及分类	测绘学的任务、作用、分类	5%
了解数字测图发展概况	数字测图发展概况	5%
明确课程学习内容、目的、方法及要求	课程学习内容、目的、方法及要求	5%
掌握测量工作的基准面及基准线	大地水准面的定义、性质及作用,铅垂线(重力方向线)的定义及作用	10%
掌握测量坐标系的定义及应用	大地坐标系,高斯平面直角坐标系,独立平面直角坐标系,空间直角坐标系,我国的大地坐标系	10%
掌握高程及高差的定义	绝对高程,相对高程,高差,我国的高程基准	10%
掌握测量工作内容	测量的三要素,测量的三项基本工作	5%
掌握测量工作的基本原则	测量工作的基本原则	10%
熟悉地球曲率对测量工作的影响	地球曲率对水平距离、水平角及高差的影响	5%
掌握比例尺的概念和比例尺精度	比例尺概念、分类,比例尺精度	5%
熟悉地形图的分幅与编号	梯形分幅、矩形分幅	5%
掌握地物表示方法	地物概念、地物符号、地形图图示	10%
掌握地貌表示方法	地貌概念、等高线概念、种类、特性	10%
掌握地形图识读	图框外注记,如图号、图名、接图表、图廓、坐标格网、三北方向线和坡度尺	5%



## 项目导读

测绘学的研究对象是地球,人类对地球形状认识的逐步深化,要求对地球形状和大小进行精确的测定,因而促进了测绘学的发展。人类对地球形状的科学认识,是从公元前6世纪古希腊的毕达哥拉斯最早提出地球是球形的概念开始的。两个世纪后,亚里士多德作了进一步论证,支持这一学说,称之为地圆说。又一个世纪后,亚历山大的埃拉托斯特尼采用在两地观测日影的办法,首次推算出地球子午圈的周长和地球的半径,以此证实了地圆说。这也是测量地球大小的“弧度测量”方法的初始形式。世界上有记载的实测弧度测量,最早是公元8世纪南官说在张遂(一行)的指导下在今河南省境内进行的,根据测量结果推算出了纬度1°的子午弧长。

17世纪末,英国的牛顿和荷兰的惠更斯首次从力学的观点探讨地球形状,提出地球是两极略扁的椭球体,称之为地扁说。1735—1741年间,法国科学院派遣测量队在南美洲的秘鲁和北欧的拉普兰进行弧度测量,证明牛顿等的地扁说是正确的。

1743年,法国A.C.克萊洛证明了地球椭球的几何扁率同重力扁率之间存在着简单的关系。这一发现,使人们对地球形状的认识又进了一步,从而为根据重力数据研究地球形状奠定了基础。

19世纪初,随着测量精度的提高,通过对各处弧度测量结果的研究,发现测量所依据的垂线方向同地球椭球面的法线方向之间的差异不能忽略。因此法国的P.S.拉普拉斯和德国的C.F.高斯相继指出,地球形状不能用旋转椭球来代表,指出地球的非球形性,现在的研究结果也证明地球总体是一个梨形。1849年英国的斯托克斯提出利用地面重力观测资料确定地球形状的理论。1873年,利斯廷创造出“大地水准面”一词,以该面代表地球形状。自那时起,弧度测量的任务,不仅是确定地球椭球的大小,而且还包括求出各处垂线方向相对于地球椭球面法线的偏差,用以研究大地水准面的形状。直到1945年,前苏联的莫洛坚斯基创立了用地面重力测量数据直接研究真实地球自然表面形状的理论。

人类对地球形状的认识和测定,经过了圆球—椭球—大地水准面—真实地球自然表面的过程,花去了约二千五六百年的时间。随着对地球形状和大小的认识和测定的愈益精确,测绘工作中精密计算地面点的平面坐标和高程逐步有了可靠的科学依据,同时也不断丰富了测绘学的理论。



## 知识点

## 测绘学的发展简史

测绘学有着悠久的历史。古代的测绘技术起源于水利和农业。古埃及尼罗河每年洪水泛滥,淹没了土地界线,水退以后需要重新划界,从而开始了测量工作。公元前2世纪,中国司马迁在《史记·夏本纪》中叙述了禹受命治理洪水的情况:“左准绳,右规矩,载四时,以开九州、通九道、陂九泽、度九山。”这些说明在公元前,中国人为了治水,已经会使用简单的测量工具了。

测绘学的研究成果是地图,地图的演变及其制作方法的进步是测绘学发展的重要标志。公元前25世纪至公元前3世纪开始出画在或刻在陶片、铜板等材料上的地图,公元前168年之前,中国长沙马王堆汉墓出土了绘在帛上的地图。从20世纪50年代开始,地图制图方法出现了巨大的变革,开始了计算机辅助地图制图的研究,到70年代已由实验试用阶段发展到较为广泛的应用。进入80年代,开始研究机助制图软件,建立地图数据库。在此基础上,由单一的机助制图系统发展为多功能、多用途、综合性的地图信息系统或地理信息系统。

测绘学获取观测数据的工具是测量仪器,测绘学的形成和发展在很大程度上依赖测绘方法和测绘仪器的创造和变革。17世纪之前,人们使用简单的工具,例如中国的绳尺、步弓、矩尺和圭表等进行测量,以量距为主。17世纪初发明了望远镜。1617年,荷兰的斯涅耳为了进行弧度测量而首创三角测量法,以代替在地面上直接测量弧长,从此测绘工作不仅量测距离,而且开始了角度测量。约于1640年,英国的伽斯利因在两片透镜之间设置十字丝,使望远镜能用于精确瞄准,这就是光学测绘仪器的开端。

约于1730年,英国的西森制成测角用的第一架经纬仪,大大促进了三角测量的发展,使它成为建立各种等级测量控制网的主要方法。在这一段时期里,由于欧洲又陆续出现小平板仪、大平板仪以及水准仪,地形测量和以实测资料为基础的地图制图工作也相应得到了发展。19世纪50年代,法国洛斯塔首创摄影测量方法。随后,相继出现立体坐标量测仪、地面立体测图仪等。到20世纪初,则形成比较完备的地面立体摄影测量法。由于航空技术的发展,1915年出现了自动连续航空摄影机,因而可以将航摄像片在立体测图仪器上加工成地形图。从此,在地面立体摄影测量的基础上,发展了航空摄影测量方法。可以说,从17世纪末到20世纪中叶,测绘仪器主要在光学领域内发展,测绘学的传统理论和方法也已发展成熟。

从20世纪50年代起,测绘技术又朝着电子化和自动化方向发展。首先是测距仪器的变革。1948年起陆续发展起来的各种电磁波测距仪,由于可用来直接精密测量长达几十千米的距离,因而使得大地测量定位方法除了采用三角测量外,还可采用精密导线测量和三边测量。大约与此同时,电子计算机出现了,并很快应用到测绘学中。这不仅加快了测量计算的速度,而且还改变了测绘仪器和方法,使测绘工作更为简便和精确。例如具有电子设备和用电子计算机控制的摄影测量仪器的出现,促进了解析测图技术的发展,继而在60年代,又出现了计算机控制的自动绘图机,可用以实现地图制图的自动化。所以50年代以后,测绘仪器的电子化和自动化以及许多空间技术的出现,不仅实现了测绘作业的自动化,提高了测绘成果的质量,而且使传统的测绘学理论和技术发生了巨大的变革,测绘的对象也由地球扩展到月球和其他星球。

## 任务 1.1 测绘学的任务及作用

### 1.1.1 测绘学的任务

测绘学是研究测定和推算地面的几何位置、地球形状及地球重力场,据此测量地球表面自然形态和人工设施的几何分布,并结合某些社会信息和自然信息的地理分布,编制全球和局部地区各种比例尺的地图和专题地图的理论和技术的学科,是地球科学的重要组成部分。

测绘学按照研究范围、研究对象及采取的技术手段的不同,分为大地测量学、摄影测量学、工程测量学、地图学、海洋测量学等分支学科。

#### 1. 大地测量学

大地测量学是研究和确定地球的形状、大小和重力场,测定地面点几何位置和地球整体与局部运动的理论和技术的学科。它是测绘学各分支学科的理论基础,其基本任务是建立国家大地控制网、重力网,精确测定控制点的空间三维位置,为地形测图和各类工程施工提供测量依据,为研究地球形状、大小、重力场及其变化和地壳形变等提供信息。

#### 2. 摄影测量学

摄影测量学是研究利用摄影或遥感的技术手段获取目标物的影像数据,从中提取几何或物理的信息,以确定被摄物体的形状、大小和空间位置,并用图形、图像和数字形式表达测绘成果的学科。

#### 3. 工程测量学

工程测量学是研究工程建设在规划、勘测设计、施工和运行管理各个阶段进行的测量工作的理论、技术和方法的学科,进行的测量工作主要有控制测量、大比例尺地形测绘、

施工放样、设备安装、变形监测等。

#### 4. 地图学

地图学是研究地图的基础理论、设计、编绘、复制和应用的学科。它研究用地图图形信息反映自然界和人类社会各种现象的空间分布、相互联系及其动态变化。

#### 5. 海洋测量学

海洋测量学是以海洋水体和海底为对象,研究海洋定位、测定海洋大地水准面和平均海面、海底和海面地形、海洋重力、海洋磁力、海洋环境等自然和社会信息的地理分布及编制各种海图的理论和技术的学科。

地形测量学是研究地球表面局部地区内测绘工作的基本理论、技术、方法及应用。由于地球半径很大,可以不考虑地球曲率的影响,把这块球面当做平面看待。20世纪80年代,由于全站仪以及计算机软、硬件的迅速发展,大比例尺地形图测绘技术由传统的手工白纸测图向自动化、数字化方向迅猛发展。到80年代后期,出现了以全站仪为主体的地面数字测图系统。现在,地面数字测图技术已经取代了传统的白纸测图方法,广泛应用于大比例尺地形图、地籍图和房产图的测绘中。本书的目的就是阐述地形测量的理论、技术和方法,地面数字测图系统的构成以及大比例尺数字测图的原理、方法和过程。

##### 1.1.2 测绘学的作用

测绘工作常被人们称作国家建设的尖兵,不论是国民经济建设还是国防建设,其勘测、设计、施工、竣工及保养维修等阶段都需要测绘工作,而且都要求测绘工作走在这类工作的前面。

在国民经济建设方面,测绘信息是国民经济和社会发展规划中最重要的基础信息之一,它为工业、农业、交通、水利、林业、通信、地矿、国土资源开发与利用等各部门提供地形图和测绘资料。

在工程建设方面,工程的勘测、规划、设计、施工、竣工及运营后的监测、维护都需要测量工作。

在国防建设方面,首先由测绘工作提供地形信息,在国防工程的规划、设计和施工,以及战略部署、战役指挥都离不开地形图。远程导弹、空间武器、人造地球卫星以及航天器的发射等,都要随时观测、校正飞行轨道,保证它精确入轨飞行。

在科学研究方面,如航天技术、地震预测预报、灾情监测、空间技术研究、海底资源探测等,以及其他科学研究方面,都需要测绘工作提供基础数据信息。

此外,建立各种地理信息系统(GIS)、数字城市、数字中国等,都需要现代测绘科学提供基础数据信息。

从以上测绘学在国民经济建设和国防建设中的应用可以看到,随着空间科学、信息科学的飞速发展,以及3S技术的应用,测绘学的服务范围 and 对象正在不断扩大,不再是原来单纯从控制到测图,为国家制作基本地形图,而是扩大到国民经济和国防建设中与地理空间数据有关的各个领域,测绘技术体系从模拟转向数字、从地面转向空间、从静态转向动态,并进一步向网络化和智能化方向发展;测绘成果已经从三维发展到四维、从静态发展到动态。测绘学为研究地球的自然和社会现象,解决人口、资源、环境和灾害等社会可持续发展中的重大问题,以及为国民经济和国防建设提供技术支撑和数据保障。

### 1.1.3 数字测图发展概况

传统的地形测量实质上是图解法测图,就是利用测量仪器对地球表面局部区域内的各种地物、地貌特征点的空间位置进行测定,然后以一定的比例尺按图示符号将其绘制在图纸上,通常称之为白纸测图。在测图过程中,点位的精度由于刺点、绘图及图纸伸缩变形等因素的影响会有较大的降低,而且工序多、劳动强度大。特别是在当今的信息时代,纸质地形图已难以承载更多的图形信息,图纸更新也极为不便,难以适应信息时代经济建设的需要。

随着科学技术的进步、计算机技术的迅猛发展及其向各个领域的渗透、制图自动化的发展,以及电子全站仪和 GPS-RTK 等先进测量仪器的广泛应用,使得数字测图技术得到了迅猛发展,并以高自动化、高精度、全数字化的显著优势逐步取代了传统的手工图解法测图的方法。

数字测图实质上是一种全解析机助测图方法。在地形测量发展过程中它是一次根本性的技术变革,这种变革主要体现在:图解法测图的最终目的是地形图,图纸是地形信息的唯一载体;数字测图地形信息的载体是计算机的存储介质(磁盘或光盘),其提交的成果是可供计算机处理、远距离传输、多方共享的数字地形图数据文件,通过数控绘图仪可输出地形图。另外,利用数字地图可以生成电子地图和数字地面模型(DTM),可实现对客观世界的三维描述。更具深远意义的是,数字地形信息作为空间数据的基本信息之一,已成为地理信息系统(GIS)的重要组成部分。

广义的数字测图包括地面数字测图、地图数字化和数字摄影测量等方法。本书仅介绍地面数字测图和地图数字化的内容。

地面数字测图是利用全站仪或其他测量仪器在野外进行数字化地形数据采集,在成图软件的支持下,通过计算机加工处理,获得数字地形图的方法。地面数字测图的成果是以数字形式储存在计算机存储介质上的数字地形图,它可供计算机处理、远距离传输、多方共享;需要时可通过数控绘图仪输出纸质地形图。

地图数字化方法是对已有的纸质地形图利用数字化仪或者扫描矢量化的方法将其数字化,转换成计算机能存储、处理的数字地形图。

数字化成图技术是由制图自动化开始的。20世纪50年代美国国防制图局开始研究制图自动化问题,1950年,世界上第一台图形显示器在美国麻省理工学院诞生,它可以显示一些简单的图形。1962年,麻省理工学院的 I.E. 萨瑟兰德开发了 SKETCHPAD 图形系统。70年代初,制图自动化已形成规模生产,在美国、加拿大及欧洲各国,各相关重要部门都建立了自动制图系统。当时的自动制图系统主要包括数字化仪、扫描仪、计算机及显示系统四个部分。其成图过程是将地形图数字化,再由绘图仪在透明塑料片上回放地形图,并与原始地形图叠置以修正错误。

大比例尺地面数字测图是20世纪70年代电子速测仪问世后发展起来的,80年代初全站型电子速测仪的迅猛发展加速了数字测图技术的研究和应用。我国对数字测图技术的研究工作开始于1983年。90年代,我国的数字测图技术无论在理论上还是在实用系统开发上都得到了迅速发展。目前,数字测图技术在国内已经成熟,它已作为主要的成图方法取代了传统的图解法测图。其发展过程大体上可分为两个阶段。

第一阶段主要利用全站仪采集数据,电子手簿记录,同时人工绘制标注点点号的草

图,到室内将测量数据直接由电子手簿传输到计算机,再由人工按草图编辑图形文件,并键入计算机自动成图,经人机交互编辑修改,最终生成数字地形图,需要时由绘图仪绘制输出地形图。

第二阶段仍采用野外测记模式,但成图软件有了实质性的进展。一是开发了智能化的外业数据采集软件;二是计算机成图软件能直接对接收的地形信息数据进行处理。目前,国内已经广泛采用利用全站仪配合便携式计算机或掌上计算机,以及直接利用全站仪内存存储测量数据的大比例尺地面测图方法。

20世纪90年代出现了载波相位差分技术,又称RTK实时动态定位技术,这种测量模式能够实时提供测点在指定坐标系的三维坐标成果,在20km测程内可达到厘米级的精度。随着RTK技术的不断完善和价格更低廉的轻小型RTK模式GPS接收机的出现,可以预料,GPS数字测图系统将在开阔地区成为地面数字测图的主要方法。

#### 1.1.4 本课程的内容及学习要求

##### 1. 本课程的主要内容及与其他课程的关系

本书以大比例尺数字测图为主线,在阐述测量的基本原理、基本知识的基础上,按照数字测图的工作过程,基于项目化、任务化组织教材内容,对大比例尺数字测图的原理、方法及应用进行了全面介绍。

数字测图技术是测绘专业的一门重要的专业技术基础课程,也是一门实践性非常强的课程。它与其他课程,如计算机应用基础、CAD技术、地籍测量等课程有着密切的联系,也是学好控制测量、工程测量等后续课程的基础。

##### 2. 学习本课程的目的和方法

学习本课程的主要目的是:掌握测量的基本理论、基本知识和基本技能,具有使用常规测量仪器的操作技能,具有进行水准测量、距离测量、角度测量等基本测量工作的技能。学习大比例尺地形图测绘的原理和方法,掌握地面数字测图和地图数字化的全过程,具有进行大比例尺数字地形图测绘的技能。掌握处理测量数据的基本理论和方法,在工程建设中能正确应用地形图和测绘资料,完成规划、设计和施工各阶段中的量测、计算和绘图等工作。

要学好数字测图,首先在课堂上要认真听讲,课后按要求认真完成练习题,以加深对基本概念和理论的理解。其次,要注重实际操作能力的培养,认真参加实践课,按要求掌握每一个实践项目的操作技能,以巩固和验证所学理论。教学实习是巩固和深化课堂所学知识的一个重要的实践环节,是理论知识和实践技能的综合运用,对系统掌握测量基本理论、基本知识和基本技能具有非常重要的作用,因此要认真完成各项实习任务,通过实习培养理论联系实际、分析问题、解决问题的能力,以及团结协作、吃苦耐劳的精神,为今后从事测绘工作打下良好基础。

## 任务 1.2 测量基准面

测量工作的主要研究对象是地球的自然表面,即岩石圈的表面。地球自然表面是不规则的,世界第一高峰珠穆朗玛峰高达8840多m,而太平洋西部的马里亚纳海沟深达

11022m。尽管有这样大的高低起伏,但相对于庞大的地球来说仍可忽略不计。地球的表面形状十分复杂,不便于用数学公式来表达。地球表面上的海洋面积约占61%,陆地面积约占29%,因此人们把地球总的形状看做是被海水包围的球体,也就是设想有一个静止的海水面,向陆地延伸而形成一个封闭的曲面,称为水准面。由于海水有潮汐,时高时低,所以水准面有无数个,其中与平均静止的海水面相吻合的水准面,称为大地水准面,如图1.1所示。它所包围的形体称为大地体。大地水准面是唯一的。在测量工作中,将大地水准面作为测量工作的基准面,用大地体代表地球的形状和大小。

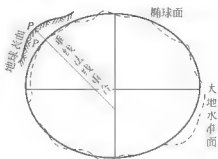


图 1.1 大地水准面

水准面的特性是处处与铅垂线垂直,即与重力方向垂直。重力的作用线又称为铅垂线,用细绳悬挂一个重球,其静止时所指示的方向即为铅垂线方向,如图1.2所示。铅垂线是测量工作的基准线。重力是地球吸引力与离心力的合力,由于地球吸引力的大小与地球内部的质量有关,而地球内部的质量分布又不均匀,这就引起地面上各点的重力方向产生不规则的变化,因而与重力方向垂直的大地水准面也就成为一个无法用数学公式表达的不规则曲面。这给实际应用带来了困难。因此,人们采用一个与大地水准面非常接近的旋转椭球面所包围的形体作为地球形体。这个旋转椭球面是由长半轴为 $a$ ,短半轴为 $b$ 的椭球绕其短轴 $NS$ 旋转而成的,如图1.3所示。

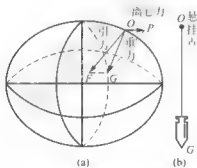


图 1.2 重力线方向

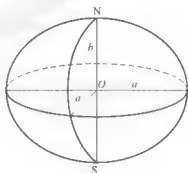


图 1.3 旋转椭球体

代表地球形状和大小的旋转椭球称为“地球椭球”。与大地水准面最接近的地球椭球称为总地球椭球;与某个区域如一个国家大地水准面最为密合的椭球称为参考椭球,其表面称为参考椭球面。由此可见,参考椭球面有许多个,而总地球椭球只有一个。参考椭球面可以用数学公式准确地表达,因此,在测量工作中,用参考椭球面代替大地水准面作为测量计算工作的基准面。

如图1.1所示,确定大地水准面与参考椭球面的相对关系,可在适当地点选择一点 $P$ ,设想把椭球体和大地体相切,切点 $P'$ 位于 $P$ 点的铅垂线方向上,这时,椭球面上 $P'$ 的法线与该点大地水准面的铅垂线相重合,并使椭球的短轴与地球自转轴平行,且椭球面与这个国家范围内的大地水准面的差距尽量小。这项确定椭球体与大地体之间相互关系并固定下来的工作,称为参考椭球体的定位, $P$ 点则称为大地原点。

椭球体的形状和大小通常用长半轴 $a$ 和扁率 $f$ 来表示:

$$f = \frac{a-b}{a} \quad (1-1)$$

我国采用过的两个参考椭球元素值及 GPS 测量使用的参考椭球元素值见表 1-1。

表 1-1 参考椭球元素值

坐标系名称	长半径 $a(\text{m})$	扁率
1954 年北京坐标系	6378245	1:298.3
1980 年国家大地坐标系	6378140	1:298.257
2000 国家大地坐标系	6378137	1:298.257222101
WGS-84 坐标系(GPS 采用)	6378137	1:298.257223563

由于参考椭球的扁率很小,当测区范围不大时,可以将地球近似看作圆球,其半径为:

$$R = \frac{1}{3}(a+a+b) \approx 6371 \text{ km}$$



#### 特别提示

- (1) 大地水准面和铅垂线是测量外业所依据的基准面和基准线。  
 (2) 大地水准面的主要特点是: ① 大地水准面是一个不规则的封闭曲面; ② 大地水准面上处处与铅垂线(重力方向线)垂直; ③ 大地水准面是唯一的。

## 任务 1.3 测量常用坐标系与地面点位的确定

测量工作的实质就是测定地面点的位置。为了确定地面点的空间位置,需要建立坐标系。一个点在空间的位置需要三个坐标量来表示。



#### 知识链接

在测量工作中,常将地面点的空间位置用平面位置(大地经纬度或高斯平面直角坐标系)和高程表示,它们分别属于大地坐标系(或高斯平面直角坐标系)和高程系统。

由于卫星大地测量的迅速发展,地面点的空间位置也可采用三维的空间直角坐标来表示。

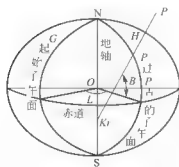


图 1.4 大地坐标系

### 1.3.1 测量常用坐标系

#### 1. 大地坐标系

地面上一点的空间位置可用大地坐标  $(B, L, H)$  表示。大地坐标系是以参考椭球面作为基准面,以法线作为基准线。 $L$  称为大地经度,是指通过该点(图 1.4 中的  $P$  点)的子午面与起始子午面的夹角,规定从起始子午面起算,向东为正,由  $0^\circ \sim 180^\circ$  称为东经;向西为负,由  $0^\circ \sim 180^\circ$  称为西经。 $B$  称为大地纬度,是指在椭球面上的  $P$  点作一与椭球

体相切的平面,过 $P$ 点作一垂直于此平面的直线,这条直线称为 $P$ 点的法线(此法线不通过椭球中心点 $O$ ),它与赤道面的交角就是 $P$ 点的大地纬度。规定从赤道面起算,由赤道面向北为正,从 $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 称为北纬;由赤道面向南为负,从 $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 称为南纬。 $P$ 点沿椭球面法线到椭球面的距离 $H$ ,称为大地高,从椭球面起算,向外为正,向内为负。

## 2. 高斯平面直角坐标系

某点用大地坐标表示的位置,是该点在球面上的投影位置。而我们的地形图是平面的,工程建设规划和设计也都是在平面上进行的,因此需要将点的位置和地面图形表示在平面上。地球表面是一个曲面,当测区范围较小时,可以把地球表面当做平面看待,所测得的一系列地面点所构成的图形,可以采用正射投影的方法,缩绘在平面上。但测区范围较大时,将地球表面上的图形投影到平面上必然会产生变形,因此,这时就不能把地球表面当做平面,必须采用适当的投影方法解决这个问题,测量工作中通常采用高斯投影。

### 1) 高斯投影的概念

高斯投影又称等角横切圆柱投影,它是一种正形投影。这种投影可以保持图上任意两个方向的夹角与实地相应的角度相等,在小范围内保持图上形状与实地相似。



#### 知识链接

高斯投影是德国测量学家高斯于1825—1830年首先提出的,但直到1912年,由德国的另一位测量学家克吕格推导出实用的坐标投影公式后,这种投影才得到推广,所以该投影又称为高斯-克吕格投影。

高斯投影具有等角投影的特点。等角投影又称为正形投影。地形图采用等角投影可以保证在有限的范围内使得地图上图形同椭球上的原图形保持相似。

如图1.5(a)所示,设想用一个椭圆柱横套在参考椭球体的外面,并使椭圆柱与参考椭球体的某一根子午线相切,相切的子午线 $NS$ 称为轴子午线或中央子午线;椭圆柱的中心轴 $CC'$ 与赤道面相重合,并通过椭球中心 $O$ 。将中央子午线两侧一定经度范围内(如 $6^{\circ}$ 或 $3^{\circ}$ )的点、线投影到椭圆柱面上。然后,沿过南北极的母线将椭圆柱面剪开,并将其展成一平面,便成为了投影面。如图1.5(b)所示,相切的中央子午线投影后为直线,长度不变。它两边的子午线投影后凹向相切的子午线,长度变长,距离中央子午线越远则变形越大。为了限制长度变形在一定的范围内,通常采用分带投影。

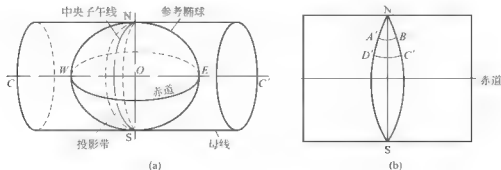


图 1.5 高斯投影



## 知识链接

在地图投影采用的正形投影中,除保证等角投影外,还要求长度和面积变形不大,并且对于长度变形,任一点在所有方向上的微分线段,投影前后长度之比为一常数,目的是减少投影计算工作,给绘图带来便利。为了控制变形,测量上往往将大的区域按一定规律分成若干小区域(称为带)。每个带单独投影,并组成直角坐标系。然后,再将这些带用简单的数学方法连接在一起,从而组成统一的系统。

### 2) 分带投影

高斯投影中,除中央子午线外,各点均存在长度变形,并且距中央子午线越远,长度变形就越大。为了控制长度变形,将地球椭球面按一定的经度差分成若干范围不大的带进行投影,称为投影带。带的宽度一般分为经差 $6^\circ$ 、 $3^\circ$ 和 $1.5^\circ$ ,简称为 $6^\circ$ 带、 $3^\circ$ 带和 $1.5^\circ$ 带,如图1.6所示。

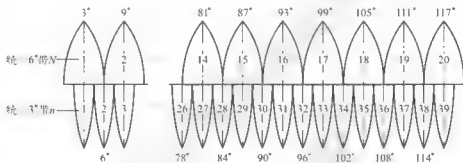


图 1.6 分带投影

(1)  $6^\circ$ 带投影。 $6^\circ$ 带是从起始子午线开始,自西向东每隔经差 $6^\circ$ 划分一带,可将地球分成60个带,每带的带号按1~60依次编号。第 $N$ 带中央子午线的经度 $L_0$ 与带号 $N$ 的关系是

$$L_0 = 6N - 3 \quad (N=1, 2, \dots, 60) \quad (1-2)$$

如已知某点的经度为 $L$ ,则该点所在 $6^\circ$ 带的带号为

$$N = [L/6] + \begin{cases} 1, & \text{前项有余数时} \\ 0, & \text{前项无余数时} \end{cases} \quad (1-3)$$

这里的 $[ \cdot / \cdot ]$ 表示“取整数运算”,不能整除时舍弃余数。式(1-3)表示取 $L \div 6$ 的“整数”,当不能整除时,无论余数多少,一律进位。

【例1-1】已知某点的经度为 $113^\circ 30'$ ,该点位于 $6^\circ$ 带的第几带?该带中央子午线的经度是多少度?

解:因为

$$113.5 \div 6 = 18 \cdots 5.5$$

所以

$$N = [113.5/6] + 1 = 18 + 1 = 19$$

$$L_0 = 19 \times 6 - 3 = 111^\circ$$

该点位于第19带,其中央子午线的经度为 $111^\circ$ 。

(2)  $3^\circ$ 带投影。 $3^\circ$ 带是在 $6^\circ$ 带的基础上划分的。 $6^\circ$ 的中央子午线和分带子午线都是 $3^\circ$ 的中央子午线。

$3^\circ$ 带是由东经 $1.5^\circ$ 起算,自西向东每隔经差 $3^\circ$ 划分,其带号按1~120依次编号。 $3^\circ$ 带

第  $n$  带的中央子午线的经度  $l_0$  与带号  $n$  的关系为:

$$l_0 = 3n \quad (n=1, 2, \dots, 120) \quad (1-4)$$

如已知某点的经度为  $L$ , 则该点所在的  $3^\circ$  带的带号为

$$n = [(L - 1.5) / 3] + \begin{cases} 1, & \text{前项有余数时} \\ 0, & \text{前项无余数时} \end{cases} \quad (1-5)$$

因为  $3^\circ$  带是从  $1.5^\circ$  起, 自西向东划分的, 所以式(1-5)中要将  $L$  减去  $1.5^\circ$ 。

【例 1-2】已知某点的经度为  $113^\circ 30'$ , 该点位于  $3^\circ$  带的第几带? 该带中央子午线的经度是多少度?

解: 因为

$$(113.5 - 1.5) \div 3 = 37 \cdots 1$$

所以

$$n = [(113.5 - 1.5) \div 3] + 1 = 38$$

$$l_0 = 3 \times 38 = 114$$

该点位于第 38 带, 其中央子午线的经度为  $114^\circ$ 。

我国中央子午线的经度从  $75^\circ$  到  $135^\circ$ ,  $6^\circ$  带横跨 11 带(13 带~23 带);  $3^\circ$  带横跨 21 带(25 带~45 带)。因此, 就我国而言, 其  $6^\circ$  带和  $3^\circ$  带的带号是没有重复的, 从带号本身, 就能看出是  $3^\circ$  带还是  $6^\circ$  带。

(3)  $1.5^\circ$  带投影。 $1.5^\circ$  带投影的中央子午线经度与带号的关系, 国际上没有统一规定, 通常是使  $1.5^\circ$  带投影的中央子午线与统一的  $3^\circ$  带投影的中央子午线或边缘子午线重合。

(4) 任意带投影。任意带投影通常用于建立城市独立坐标系。一般选择过城市中心某点的子午线为中央子午线进行投影, 这样可以使整个城市范围内的距离投影变形都比较小。

### 特别提示

为了减少长度变形的影响, 在  $1:10000$  或更大比例尺测图时, 必须采用  $3^\circ$  带或  $1.5^\circ$  带的投影。有时也用任意带投影计算, 即选择测区中央的子午线为轴子午线。

### 3) 高斯平面直角坐标系

高斯投影后的中央子午线和赤道均为直线并保持相互垂直。以中央子午线为坐标纵轴, 即  $x$  轴, 向北为正; 以赤道为坐标横轴, 即  $y$  轴, 向东为正; 中央子午线与赤道的交点为坐标原点  $O$ 。这样便形成了高斯平面直角坐标系, 如图 1.7 所示。

与数学上的笛卡尔坐标系不同, 在高斯平面直角坐标系中, 为了定向方便, 定义纵轴为  $x$  轴, 向北为正; 横轴为  $y$  轴, 向东为正。将  $x$  轴与  $y$  轴互换了位置, 并且规定象限按顺时针方向编号, 这样做的目的是可以将数学上定义的各类三角函数在高斯平面直角坐标系中直接应用, 不需要作任何变更。

我国位于北半球, 在高斯平面直角坐标系内,  $x$  坐标均为正值, 而  $y$  坐标值有正有

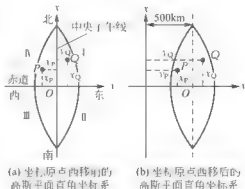


图 1.7 高斯平面直角坐标系

负,这种坐标又称之为自然坐标。为了避免  $y$  坐标出现负值,规定将  $x$  坐标轴向西平移 500km,即所有点的  $y$  坐标值均加上 500km,如图 1.7(b)所示。此外,为了区别某点位于哪一个投影带内,还应在横坐标值前冠以投影带带号。这种坐标称为国家统一坐标。

例如,  $P$  点在第 18 带内,其自然坐标为  $x_P = 3176532.165\text{m}$ ,  $y_P = -132864.854\text{m}$ ,则  $P$  点的国家统一坐标为:

$$x_P = 3176532.165\text{m}, y_P = 18367136.146\text{m}$$

### 3. 独立平面直角坐标系

当测区范围较小时(如小于  $100\text{km}^2$ ),常把球面看做平面,建立独立平面直角坐标系。如图 1.8 所示将测区中心点  $C$  沿铅垂线投影到大地水准面上得  $c$  点,用  $c$  点的切平面代替大地水准面,在切平面上建立的测区平面直角坐标系  $xOy$  称为独立平面直角坐标系。坐标系的原点应选在测区西南角,以使测区内点的  $x$ 、 $y$  坐标均为正值。

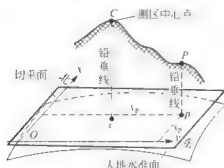


图 1.8 独立平面直角坐标系

### 特别提示

测量平面直角坐标系与数学上的笛卡尔坐标系是不同的,不同点主要有以下两个方面:①坐标轴的定义不同。测量平面直角坐标系中,定义纵轴为  $x$  轴,向北为正;横轴为  $y$  轴,向东为正,将笛卡尔坐标系的  $x$  轴与  $y$  轴互换了位置。②象限的规定不同。测量平面直角坐标系中规定象限按顺时针方向编号,而笛卡尔坐标系按逆时针方向编号。

### 4. 空间直角坐标系

在测量应用中,常用空间直角坐标来表示空间点的位置。通常空间直角坐标系的原点设在参考椭球体中心  $O$ ,  $z$  轴与椭球体旋转轴重合,向北为正;  $x$  轴指向格林尼治子午面与地球赤道的交点,  $y$  轴垂直于  $xOz$  平面,构成右手系如图 1.9 所示。点在此坐标系下的位置由  $x$ 、 $y$ 、 $z$  坐标(该点在此坐标系的各个坐标轴上的投影)所定义。当原点位于参考椭球体中心时,这样定义的坐标系又被称为参心系;位于地球质心时,称为地心系。

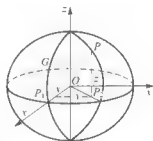


图 1.9 空间直角坐标系

### 5. 我国的大地坐标系

新中国成立后,我国先后采用了 3 套大地坐标系。

#### 1) 1954 年北京坐标系

20 世纪 50 年代,由于国家建设的需要,我国地面点的大地坐标通过联测,从前苏联经我国东北传算过来,其坐标系定名为 1954 年北京坐标系。该坐标系采用克拉索夫斯基椭球,见表 1-2。大地原点位于前苏联的普尔科沃。由于该坐标系大地原点距我国甚远,在我国范围内该参考椭球面与大地水准面存在着明显的差距,在东部地区,差距更大。因此,1978 年全国天文大地网平差会议决定建立我国独立的大地坐标系。

#### 2) 1980 年国家大地坐标系(1980 西安坐标系)

为了更好地适应我国经济建设和国防建设发展的需要,我国在 1972—1982 年期

间进行天文大地网平差时,建立了新的大地基准,相应的大地坐标系称为1980年国家大地坐标系,又称为“1980西安坐标系”,大地原点位于陕西省泾阳县永乐镇,简称西安原点。椭球参数采用1975年国际大地测量与地球物理联合会第16届大会的推荐值。

两个系统的坐标可以转换,但不同地区坐标转换系数不一样。使用控制点成果时,一定要注意坐标系的统一性。



#### 知识链接

大地原点,亦称大地基准点。大地原点是人为界定的一个点。我国的大地原点在陕西省泾阳县永乐镇北流洪村境内(图1.10)。大地原点的整个设施由中心标志、仪器台、主体建筑、投影台等几大部分组成。高出地面25m多的立体建筑共7层,顶层为观察室,内设仪器台;建筑的顶部是玻璃钢制成的整体半圆形屋顶,可用电控翻开以便观测天体;中心标志埋设于主体建筑的地下室中央。它在我国经济建设、国防建设和社会发展等方面发挥着重要作用。

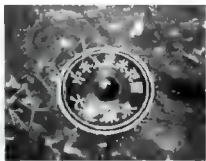


图1.10 中华人民共和国大地原点

#### 3) 2000 国家大地坐标系

2000国家大地坐标系是一种地心坐标系,坐标原点在地球质心(包括海洋和大气的整个地球质量的中心), $z$ 轴指向BIH1984.0定义的协议地极方向(BIH代表国际时间局), $x$ 轴指向BIH1984.0定义的零子午面与协议赤道的交点, $y$ 轴按右手坐标系确定,椭球参数见表1-2。我国自2008年7月1日起启用2000国家大地坐标系。

随着GPS的普及,出现了WGS-84坐标系。WGS是World Geodetic System(世界大地坐标系)的缩写,它是美国国防制图局为进行GPS导航定位于20世纪80年代中期建立的一个地心坐标系。



#### 特别提示

2008年3月,由国土资源部正式上报国务院《关于中国采用2000国家大地坐标系的请示》,并于2008年4月获得国务院批准。自2008年7月1日起,中国将全面启用2000国家大地坐标系,国家测绘局授权组织实施。

2000国家大地坐标系与现行国家大地坐标系转换、衔接的过渡期为8~10年。现有各类测绘成果,在过渡期内可沿用现行国家大地坐标系;2008年7月1日后新生产的各类测绘成果应采用2000国家大地坐标系。现有地理信息系统,在过渡期内应逐步转换到2000国家大地坐标系;2008年7月1日后新建的地理信息系统应采用2000国家大地坐标系。

#### 1.3.2 高程

大地坐标或平面直角坐标只能反映地面点在参考椭球面上或投影面上的位置,并不能反映其高低起伏的差别,为此需建立一个统一的高程系统。建立高程系统,首先要选择一个基准面。在一般测量工作中都以大地水准面作为高程基准面。

## 知识链接

大地水准面是高程的基准面，通常采用平均海水面作为大地水准面。平均海水面的确定是通过验潮站长期验潮求定的。在验潮站上长期观测潮位的升降，根据验潮记录求出该验潮站海面的平均位置。为了保持由验潮所确定的潮位面，在验潮站附近需要设置一系列水准点，从其中选定永久性和可靠性都是最佳的一个作为水准原点。我国的水准原点设在青岛市观象山，如图 1.11 所示。

## 1. 绝对高程

地面上某点到大地水准面的铅垂距离称为该点的绝对高程或海拔，简称高程，用  $H$  表示。如图 1.12 所示地面点  $A$ 、 $B$  的绝对高程分别为  $H_A$ 、 $H_B$ 。



图 1.11 我国的水准原点

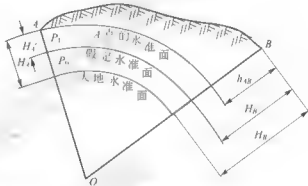


图 1.12 高程与高差

一般地，一个国家只采用一个平均海水面作为统一的高程基准面(起算面)，由此高程基准面建立的高程系统称为国家高程系，否则称为地方高程系。我国是以青岛验潮站验潮结果推算的黄海平均海水面，以此作为我国高程起算的基准面。

## 2. 相对高程

地面上某点到任一假定水准面的垂直距离称为该点的相对高程或假定高程，如图 1.12 所示。地面点  $A$ 、 $B$  的假定高程分别为  $H'_A$ 、 $H'_B$ 。当测区附近无国家高程控制点时，可采用假定高程系统，即假设任意一个水准面作为高程起算面。将来如有需要，只需与国家高程控制点联测，再经换算成绝对高程就可以了。

## 3. 高差

地面上两点高程之差称为高差，用  $h$  表示。如图 1.12 所示  $A$ 、 $B$  两点的高差为

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1-6)$$

由此可见，地面两点之间的高差与采用的高程系统无关。

高差值有正有负。如果测量方向由  $A$  到  $B$ ， $A$  点高， $B$  点低，则高差  $h_{AB} = H_B - H_A$  为负值；若测量方向由  $B$  到  $A$ ，即由低点测到高点，则高差  $h_{BA} = H_A - H_B$  为正值。

## 4. 我国的高程系统

## 1) 1956 年黄海高程系

我国过去是以青岛验潮站 1950—1956 年连续验潮的结果求得的平均海水面作为全国

统一的高程基准面,由此基准面起算所建立的高程系统,称为1956年黄海高程系。为了明显而稳固地表示高程基准面的位置,在山东省青岛市观象山上,建立了国家水准原点。用精密水准测量方法测出该水准原点高程为72.289m。全国各地的高程都以它为基准进行推算。

## 2) 1985 国家高程基准

1985年,国家测绘局根据青岛验潮站1952—1979年间连续观测的潮汐资料,推算出青岛水准原点的高程为72.260m,于1987年5月正式通告启用,并以此定名为“1985国家高程基准”,同时“1956年黄海高程系”即相应废止。各部门各类水准点成果将逐步归算至“1985国家高程基准”上来。所以,在使用高程成果时,要特别注意使用的高程基准,防止错误。

# 任务 1.4 测量的基本工作与基本原则

## 1.4.1 测量的基本工作

前面谈到,当测区范围较小(如小于 $100\text{km}^2$ )时,常把投影面看做平面(即将大地水准面的一个小部分看做一个水平面)。如图1.13所示,设地面上有四个点A、B、C、D,投影到水平面上分别为a、b、c、d。如果丈量出各点间的水平距离 $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$ 、 $D_4$ ,测出水平角 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\beta_3$ 、 $\beta_4$ 及起始边ab与标准方向的夹角 $\alpha$ ,则a、b、c、d各点在图上的位置即可完全确定。因此,为了确定地面点的平面位置,则需要测定水平角和水平距离。为了确定地面点的空间位置,还需要知道点的高程,而高程是通过测定两点间的高差推算出来的。所以水平距离、水平角和高差称为确定地面点位置的三个基本元素,称之为测量三要素,距离测量、角度测量和高程测量是测量的三项基本工作。

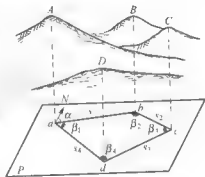


图 1.13 测量三要素

## 1.4.2 测量的基本原则

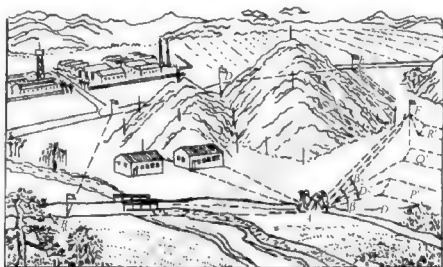
测绘学将地表物体分为地物和地貌。地物是指地面上天然或人工的固定物体,它包括湖泊、河流、海洋、房屋、道路、桥梁等。地貌是指地表高低起伏的形态,它包括高山、峡谷、陡坎等。地物和地貌总称为地形。要把地形反映到图上,是通过测定地物和地貌的一些特征点(也称碎部点)的平面位置和高程来实现的。

进行测量工作时,如果从一个碎部点开始,逐点进行施测,最后虽可以得到欲测各点的位置,但由于测量工作中存在不可避免的误差,这些点的位置可能是不准确的,这样会导致前一点的测量误差传递到下一点,使误差累积起来,最后可能达到不可容许的程度。因此,测量工作必须按照一定的程序和方法进行。

在实际测量工作中是遵循“从整体到局部,由高级到低级,先控制后碎部”的原则,也就是首先在测区范围内选定若干具有控制意义的点组成控制网,这些点称为控制点,如图1.14(a)中的A、B、…、F点,通过精密的测量仪器,把这些控制点的平面位置和高程

精确地测定出来，我们把这项工作称为控制测量；然后再根据这些控制点测定出附近碎部点的位置，如图 1.14(b)所示。我们把这项工作称为碎部测量。虽然碎部测量的精度比控制测量的精度低，但由于控制点的位置比较准确，每个碎部点的位置都是从控制点测定的，所以误差就不会从一个碎部点传递到另一个碎部点，在一定的观测条件下，各个碎部点均能保证具有应有的精度。

综上所述，测量工作中，在布局上要“从整体到局部”，在精度控制上要“由高级到低级”，在工作步骤上要“先控制后碎部”。



(a)



(b)

图 1.14 地形图测绘

### 1.4.3 地球曲率对测绘工作的影响

如前所述，水准面是一个曲面，在实际工作中，当测区面积不大时，可以用水平

面代替大地水准面,即在一定范围内把地球表面上的点直接投影到水平面上来决定其位置,但这样必然会产生误差。那么,究竟在多大范围内才能允许用水平面代替水准面呢?下面对用水平面代替水准面引起的距离、角度和高程等方面误差的大小做初步的分析。

### 1. 地球曲率对水平距离的影响

如在图 1.15 所示中,在地面上有  $A'$ 、 $B'$  两点,它们投影到球面的位置为  $A$ 、 $B$ , 设  $AB$  弧长为  $d$ , 所对的圆心角为  $\alpha$ , 地球半径为  $R(6371\text{km})$ 。如果将切于  $A$  点的水平面代替水准面,即以相应的切线段  $AC$  代替圆弧  $\widehat{AB}$ , 则在距离方面将产生误差  $\Delta d$ 。由图 1.15 可以看出

$$\Delta d = AC - \widehat{AB} = t - d = R \tan \alpha - R\alpha \quad (1-7)$$

将  $\tan \alpha$  用级数展开,并取级数前两项,得

$$\Delta d = R\alpha + \frac{1}{3}R\alpha^3 - R\alpha = \frac{1}{3}R\alpha^3 \quad (1-8)$$

因为  $\alpha = \frac{d}{R}$ , 故

$$\Delta d = \frac{d^3}{3R^2} \quad (1-9)$$

或用相对误差表示为

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{1}{3} \left( \frac{d}{R} \right)^2 \quad (1-10)$$

以不同的距离  $d$  代入式(1-9)和式(1-10), 求出的误差和相对误差列于表 1-2 中。

表 1-2 地球曲率对水平距离和高程的影响

距离 $d(\text{km})$	距离误差 $\Delta d(\text{mm})$	距离相对误差 $\Delta d/d$	高程误差 $\Delta h(\text{mm})$
0.1	0.000008	1/12500000000	0.8
1	0.008	1/125000000	78.5
10	8.2	1/1200000	
25	128.3	1/200000	

从表 1-3 中可以看出,当地面距离为 10km 时,用水平面代替水准面所产生的距离误差仅为 0.82cm, 其相对误差为  $\frac{1}{1200000}$ 。而实际测量距离时,使用精密电磁波测距仪的测距精度为  $\frac{1}{1000000}$ 。所以,在半径为 10km 的圆面积内进行距离测量时,可以用切平面代替大地水准面,而不必考虑地球曲率对水平距离的影响,也就是说可以把水准面当做水平面看待,认为地面上两点  $A'$ 、 $B'$  在水准面上的距离( $\widehat{AB}$  弧的长度)与它们在水平面上投影点之间的直线距离  $AC$  相同,其误差可忽略不计。

### 2. 地球曲率对水平角度的影响

由球面三角学知道,同一空间多边形在球面上投影  $A'B'C'$  的各内角之和,较其在平

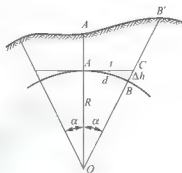


图 1.15 地球曲率对水平距离合高程的影响

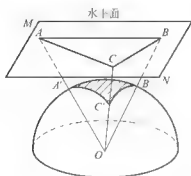


图 1.16 水平面代替水准面引起的角度误差

当  $P=2500\text{km}^2$  时,  $\epsilon''=12.70''$ 。

由上述计算表明, 对于面积在  $100\text{km}^2$  以内的多边形, 地球曲率对水平角的影响只有在最精密的测量中才需要考虑, 一般的测量工作是不必考虑的。

### 3. 地球曲率对高程的影响

在图 1.15 中,  $B'$  点的高程为  $B'B$ , 如用过  $A$  点的水平面代替水准面, 则  $B'$  点的高程为  $B'C$ , 这时产生的高程误差为  $\Delta h$ 。从图中可以看出,  $\angle CAB = \frac{\alpha}{2}$ , 因该角很小, 以弧度表示, 则

$$\Delta h = d \times \frac{\alpha}{2} \quad (1-12)$$

因  $\alpha = \frac{d}{R}$ , 故

$$\Delta h = \frac{d^2}{2R} \quad (1-13)$$

以不同的距离值代入式(1.13), 算得相应的  $\Delta h$  值列在表 1-3 中。从表中可以看出, 当距离为  $100\text{m}$  时, 产生的高程误差就接近  $1\text{mm}$ , 这对高程测量来说, 其影响是很大的。因此, 地球曲率对高差的影响, 即使在很短的距离内也必须加以考虑。

综上所述, 在面积为  $100\text{km}^2$  范围内, 不论是进行水平距离或水平角测量, 都可以不顾及地球曲率影响; 在精度要求较低的情况下, 这个范围还可以相应扩大。但是不论距离有多少, 地球曲率对高差的影响是不能忽视的。

## 任务 1.5 认识地形图

地图就是按照一定的数学法则, 运用符号系统和综合方法、以图形或数字的形式表示具有空间分布特性的自然与社会现象的载体。地形图, 则是地图的一种。大比例尺地面数字地形图测绘是通过野外实地测绘, 将地面上的各种地物、地貌按铅垂方向投影到同一水平面上, 再按一定的比例缩小绘制成图。若在图上仅表示地物平面位置的图, 称为平面图; 如果既表示地物的平面位置, 又表示地貌的起伏形态的图, 称为地形图。

如图 1.17 所示是某幅 1:500 比例尺地形图的一部分,图中主要表示了城市居民区、街道、植被等。

如图 1.18 所示是某幅 1:2000 比例尺地形图的一部分,图中主要表示了山区地貌和农村居民地。

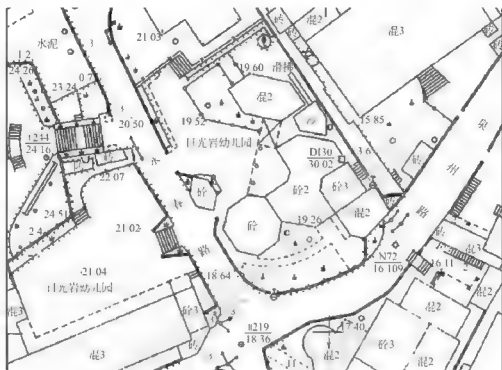


图 1.17 1:500 城区居民地地形图示例

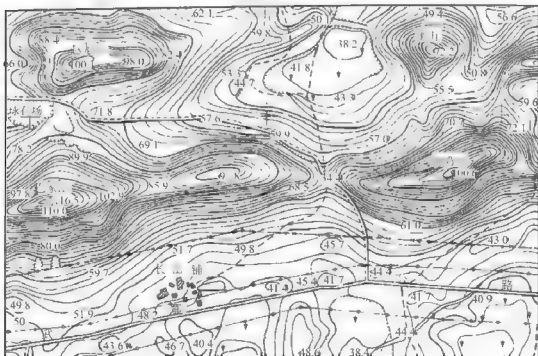


图 1.18 1:5000 地形图示例

地形图的内容非常丰富,大致可分为3大类要素:①数学要素,如比例尺、坐标格网等;②地形要素,即各种地物、地貌;③注记和整饰要素,包括各类注记、说明资料和辅助图表。

### 1.5.1 地形图的比例尺

地形图上一段直线的长度与地面上相应线段的实际水平长度之比,称为地形图的比例尺。

#### 1. 数字比例尺

数字比例尺用分子为1的分数表达,分母为整数。设图中某一线段长度为 $d$ ,相应实地水平长度为 $D$ ,则图的比例尺为:

$$\frac{d}{D} = \frac{1}{\frac{D}{d}} = \frac{1}{M} = 1:M \quad (1-14)$$

比例尺分母 $M$ 值越大,比值越小,比例尺就越小。通常称1:1000000,1:500000和1:250000比例尺为小比例尺;1:100000,1:50000,1:25000比例尺为中比例尺;1:10000,1:5000,1:2000,1:1000和1:500比例尺为大比例尺。1:1000000,1:500000,1:250000,1:100000,1:50000,1:25000,1:10000七种比例尺的地形图为国家基本比例尺地形图。大比例尺地形图通常是直接为满足各种工程设计、施工而测绘的。不同比例尺的地形图一般有不同的用途。如1:10000和1:5000地形图为基础比例尺地形图,是国民经济建设部门进行总体规划、设计的一项重要依据,也是编制其他更小比例尺地形图的基础。1:2000比例尺地形图常用于城市详细规划及工程项目初步设计。1:1000和1:500比例尺地形图,主要供各种工程建设的技术设计、施工设计和工业企业的详细规划使用等。

#### 2. 图示比例尺

为了便于应用,以及减小由于图纸伸缩而引起的使用中的误差,通常在地形图上绘制图示比例尺。

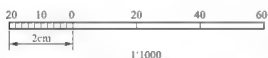


图 1.19 1:1000 图示比例尺

如图 1.19 所示为 1:1000 的图示比例尺,以 2cm 为基本单位,最左端的一个基本单位分成 10 等份。从图示比例尺上可直接读得基本单位得 1/10,估读到 1/100。

#### 3. 比例尺精度

人们用肉眼在上能分辨的最小距离一般为 0.1mm,因此在图上量度或者实地测图描绘时,就只能达到图上 0.1mm 的精确性。所以我们将图上 0.1mm 所表示的实地水平长度称为比例尺精度。各种比例尺的比例尺精度可表达为

$$\delta = 0.1\text{mm} \times M \quad (1-15)$$

式中: $\delta$ ——比例尺精度;

$M$ ——比例尺分母。

比例尺越大,其比例尺精度也越高。工程上常用的几种大比例尺地形图的比例尺精度,见表 1-3。

表 1-3 比例尺精度表

比例尺	1 : 500	1 : 1000	1 : 2000	1 : 5000
比例尺精度(m)	0.05	0.1	0.2	0.5

比例尺精度的概念,对测图和设计都有重要的意义。根据比例尺的精度,可以确定在测图时量距应准确到什么程度。例如测 1 : 1000 图时,实地量距只需取到 10cm,因为即使量得再精细,在图上也无法表示出来。同时,若设计规定需在地图上能量出的实地最短长度时,就可以根据比例尺精度定出测图比例尺。如一项工程设计用图,要求图上能反映 0.2m 的精度,则所选图的比例尺就不能小于 1 : 2000。



#### 特别提示

图的比例尺越大,其表示的地物、地貌就越详细,精度也越高。但比例尺越大,测图所耗费的人力、财力和时间也越多。因此,在各类工程中,究竟选用何种比例尺测图,应从实际情况出发,合理选择,而不要盲目追求大比例尺的地形图。

### 1.5.2 地形图的分幅和编号

为便于测绘、印刷、保管、检索和使用,所有地形图均须按规定的大小进行统一分幅和编号。地形图的分幅方法有两种:一种是按经纬线分幅的梯形分幅法,它一般用于 1 : 5000 ~ 1 : 1000000 的中、小比例尺地形图的分幅,我国基本比例尺地形图(1 : 5000 ~ 1 : 1000000)采用的就是梯形分幅法;另一种是按坐标格网分幅的矩形分幅法,它一般用于城市和工程建设 1 : 500 ~ 1 : 2000 的大比例尺地形图的分幅。

地形图的梯形分幅又称国际分幅,由国际统一规定的经线为图的东、西边界,统一规定的纬线为图的南、北边界。由于子午线向南、北两极收敛,因此,整个图幅呈梯形。



#### 知识链接

梯形分幅的主要优点是每个图幅都有明确的地理位置概念,适用于很大范围(如全国、大洲、全世界)的地图分幅。其缺点是图幅拼接不方便,随着纬度的升高,相同经纬度所限定的图幅面积不断缩小,不利于有效地利用纸张和印刷机版面;此外,经纬线分幅还会破坏重要地物(例如大城市)的完整性。

#### 1. 旧的梯形分幅与编号

##### 1) 1 : 1000000 比例尺地形图的分幅和编号

1 : 1000000 比例尺地形图的分幅是从赤道(纬度 0°)起,分别向南北两极,每个纬差 4° 为一横行,依次以拉丁字母 A、B、C、D、…、V 表示;由经度 180° 起,自西向东每隔经差 6° 为一纵列,依次用数字 1、2、3、…、60 表示。如图 1.20 所示为东半球北纬 1 : 1000000 地图的国际分幅和编号。如图 1.21 所示为我国领土的 1 : 1000000 地图的分幅和编号,每幅图的编号,先写出横行的代号,中间绘一横线相隔,后面写出纵列的代号。如北京某处的地理位置为北纬 39°56′23″,东经 116°22′53″,则所在 1 : 1000000 比例尺图幅号是 J 50;广东某处的地理位置为北纬 22°36′10″,东经 113°04′45″,其所在 1 : 1000000 比例尺图的图幅号是 F 49。

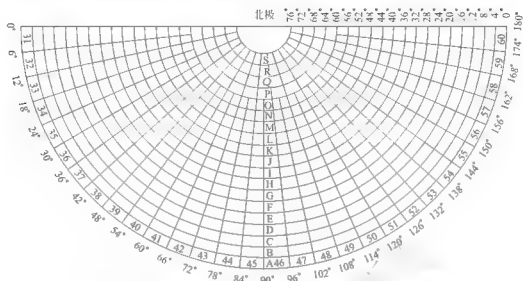


图 1.20 东半球北纬 1:1000000 地图的国际分幅和编号

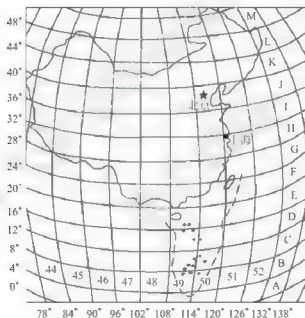


图 1.21 我国领土的 1:1000000 地图的分幅和编号

## 2) 1:500000、1:250000、1:100000 比例尺地图的分幅和编号

这三种比例尺地图的分幅和编号，都是在 1:1000000 比例尺地图分幅和编号的基础上，按表 1-4 中的相应纬差和经差划分。每幅 1:1000000 的图，按经差 3°、纬差 2°可划分成 4 幅 1:500000 的图，分别以 A、B、C、D 表示。如北京某处所在的 1:500000 的图的编号为 J-50-A，如图 1.22 所示。

每幅 1:1000000 的图又可按经差 1°30′、纬差 1°划分为 16 幅 1:250000 的图，分别以 [1]、[2]、…、[16] 表示。如北京某处所在的 1:250000 的图的编号为 J-50-[2] (图 1.20) 中有阴影线的图幅。每幅 1:1000000 的图按经差 30′、纬差 20′划分为 144 幅 1:100000 的图，分别以 1、2、3、…、144 表示。如北京某处所在的 1:100000 的图幅的编号为 J-50-5，如图 1.23 所示中有阴影线的图幅。

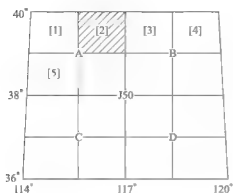


图 1.22 1:500000 地图的分幅和编号

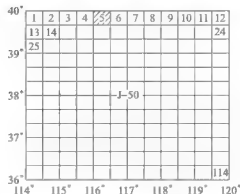


图 1.23 1:100000 地图的分幅和编号

### 3) 1:50000、1:250000、1:10000 比例尺地图的分幅和编号

这三种比例尺地图的分幅和编号都是在 1:100000 比例尺图的基础上进行的,其划分的经差和纬差(表 1-5)。每幅 1:100000 的图,可划分为 4 幅 1:50000 的图,分别在 1:100000 的图号后面写上各自的代号 A、B、C、D。如北京某处所在 1:500000 的图幅为 J-50-5-B,如图 1.22 所示。再将每幅 1:50000 的图四等分,就得到 1:25000 的图,分别以 1、2、3、4 编号,如北京某处所在 1:25000 的图幅编号为 J-50-5-B-2,如图 1.24 所示阴影线的图幅。

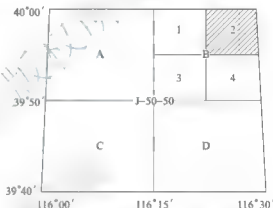


图 1.24 1:50000 和 1:25000 地图的分幅和编号

每幅 1:100000 的图,按其经差和纬差作 8 等分,划分为 64 幅 1:10000 的图,以(1)、(2)、(3)、...、(64)作编号,如北京某处所在的 1:10000 的图幅为 J-50-5-(15),如图 1.25 所示中有阴影线的图幅。

### 4) 1:5000 比例尺地形图的分幅和编号(表 1-4)

按经纬线分幅的 1:5000 比例尺地图,是在 1:10000 的图的基础上进行分幅和编号的,每幅 1:10000 的图分成四幅 1:5000 的图,并分别在 1:10000 的图号后面写上各自的代号 a、b、c、d 作为编号。如北京某处所在的 1:5000 梯形分幅图号为 J-50-5-(15)-a,如图 1.26 所示中有阴影线的图幅。

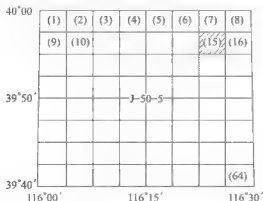


图 1.25 1:10000 地图的分幅和编号

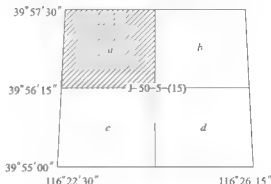


图 1.26 1:5000 地图的分幅和编号



表 1-5 各种比例尺代码

比例尺	1:500000	1:250000	1:100000	1:50000	1:25000	1:10000	1:5000
代码	B	C	D	E	F	G	H

现行的国家基本比例尺地形图分幅编号关系, 见表 1-6。

表 1-6 现行的国家基本比例尺地形图分幅编号关系

比例尺	1:1000000	1:500000	1:250000	1:100000	1:50000	1:25000	1:10000	1:5000
图幅范围	经差	6°	3°	1°30′	30′	15′	7′30″	3′45″
	纬差	4°	2°	1°	20′	10′	5′	2′30″
行列数量关系	行数	1	2	4	12	24	48	96
	列数	1	2	4	12	24	48	96
图幅数量关系		1	4	16	144	576	2304	9216
							9216	36864

如图 1.28 所示为 1:100000、1:50000、1:25000 地形图的图幅编号。在图中, 带单斜线的图幅为 1:100000 的地形图, 其图号为 J50D002011; 带网格的图幅为 1:50000 的地形图, 其图号为 J50E023003; 带阴影的图幅为 1:25000 的地形图, 其图号为 J50F046046。

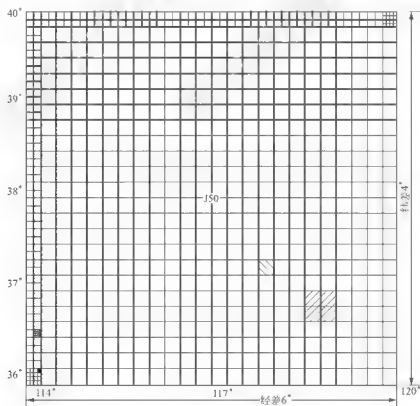


图 1.28 1:1000000~1:5000 地形图的行、列编号

(3) 编号的应用。已知图幅内某点的经纬度或图幅西南图廓点的经纬度, 可按下式计算 1:1000000 地形图的图幅编号:

$$\begin{aligned} a &= [\phi/4^\circ] + 1 \\ b &= [\lambda/6^\circ] + 31 \end{aligned} \quad (1-16)$$

式中: [ ] 商取整;

$a$ ——1:1000000 地形图图幅所在行号对应的数字码;

$b$ ——1:1000000 地形图图幅所在列号的数字码;

$\lambda$ ——图幅内某点的经度或图幅西南图廓点的经度;

$\phi$ ——图幅内某点的纬度或图幅西南图廓点的纬度。

**【例 1-3】** 某点经度为  $116^\circ 22' 45''$ , 纬度为  $39^\circ 56' 30''$ , 计算其所在 1:1000000 图幅的编号。

$$\begin{aligned} a &= [\phi/4^\circ] + 1 = [39^\circ 56' 30''/4^\circ] + 1 = 10 \\ b &= [\lambda/6^\circ] + 31 = [116^\circ 22' 45''/6^\circ] + 31 = 50 \end{aligned}$$

10 对应的字符码为 J, 所以该点所在 1:1000000 地形图图幅的图号为 J50。

若已知图幅内某点的经纬度或图幅西南图廓点的经纬度, 也可按下式计算所求比例尺地形图在 1:1000000 地形图图号后面的行、列号:

$$\begin{aligned} c &= 4^\circ/\Delta\phi - [( \phi/4^\circ )/\Delta\phi] \\ b &= [(\lambda/6^\circ)/\Delta\lambda] + 1 \end{aligned} \quad (1-17)$$

式中: ( )——表示商取余;

[ ]——表示商取整;

$c$ ——所求比例尺地形图在 1:1000000 地形图图号后的行号;

$d$ ——所求比例尺地形图在 1:1000000 地形图图号后的列号;

$\lambda$ ——图幅内某点的经度或图幅西南图廓点的经度;

$\phi$ ——图幅内某点的纬度或图幅西南图廓点的纬度。

**【例 1-4】** 某点经度为  $116^\circ 22' 45''$ , 纬度为  $39^\circ 56' 30''$ , 计算其所在 1:10000 图幅的编号。

$$\begin{aligned} \Delta\phi &= 2'30'', \Delta\lambda = 3'45'' \\ c &= 4^\circ/2'30'' - [(39^\circ 56'30''/4^\circ)/2'30''] = 002 \\ d &= [(116^\circ 22'45''/6^\circ)/3'45''] + 1 = 039 \end{aligned}$$

1:10000 地形图的图号为 J50G002039。



#### 知识链接

已知图幅内某点的经纬度或图幅西南图廓点的经纬度, 可计算不同比例尺地形图的图幅编号; 同样, 已知图号也可以计算该图幅西南图廓点的经纬度, 相应的计算公式及算例参见《国家基本比例尺地形图分幅和编号》(GB/T 13989—2012)。

#### 3. 1:500~1:2000 大比例尺地形图的矩形分幅和编号

《1:500 1:1000 1:2000 地形图图式》(GB/T 20257.1—2007)规定, 1:500~1:2000 比例尺地形图一般采用  $50\text{cm} \times 50\text{cm}$  正方形分幅或  $50\text{cm} \times 40\text{cm}$  矩形分幅; 根据需要, 也可以采用其他规格的分幅; 1:2000 地形图也可以采用经纬度统一分幅。地形图编号一般采用图廓西南角坐标公里数编号法, 也可选用流水编号法或行列编号法等, 带状测区或小面积测区, 可按测区统一顺序进行编号。

采用图廓西南角坐标公里数编号法时,表示为“x y”,1:500的地形图取至0.01km(如10.40~21.75),1:1000,1:2000地形图取至0.1km(如10.0~21.0)。带状测区或小面积测区,可按测区统一顺序进行编号,一般从左到右,从上到下用数字1,2,3,4,……编定,如图1.29(a)所示的“杜阮-7”其中“杜阮”为测区地名。

	杜阮-1	杜阮-2	杜阮-3	杜阮-4		
杜阮-5	杜阮-6	杜阮-7	杜阮-8	杜阮-9	杜阮-10	
杜阮-11	杜阮-12	杜阮-13	杜阮-14	杜阮-15	杜阮-16	

(a)

A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6
B-1	B-2	B-3	B-4		
C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	

(b)

图 1.29 大比例尺地形图的分幅和编号

行列编号法一般以代号(如A, B, C, D, …)为横行,由上到下排列,以数字1, 2, 3, 4, …为代号的纵列,从左到右排列来编定,先行后列,如图1.29(b)中的A-4。采用国家统一坐标系时,图廓间的公里数应根据需要加注带号和百公里数,如X:<sup>1</sup>27.8, Y:<sup>2</sup>57.0。

### 1.5.3 地物符号与地形图图示

地物的种类繁多,形态复杂,一般可分为两类:一类是自然地物,如河流、湖泊等;另一类是为人工地物,如房屋、道路、管线等。地物的类别、大小、形状及其在图上的位置,都是按规定的地物符号和要求表示的。国家测绘总局颁发的《地形图图示》统一规定了地形图的规格要求、地物、地貌符号和注记,供测图和识图时使用。

表1-7是《1:500, 1:1000, 1:2000地形图图示》(GB/T 20257.1—2007)所规定的部分地物符号,根据地物的大小和描绘的方法可分为三种类型。

#### 1. 比例符号

比例符号是指地物的轮廓较大,能按比例尺将地物的形状、大小和位置缩小绘在图上以表达轮廓性的符号。这类符号一般是用实线或点线表示其外围轮廓,如房屋、湖泊、森林、农田等。如表1-7中的1~12号。

#### 2. 非比例符号

一些具有特殊意义的地物,轮廓较小,不能按比例尺缩小绘在图上时,就采用统一尺寸,用规定的符号来表示,如三角点、水准点、烟囱、消火栓等。这类符号在图上只能表示地物的中心位置,不能表示其形状和大小。如表1-7中的27~40号。

非比例符号不仅其形状和大小不能按比例尺去描绘,而且符号的中心位置与该地物实地中心的位置关系也随着各类地物符号的不同而不同,其定位点规则如下。

(1) 圆形、正方形、三角形等几何图形的符号(如三角点等)的几何中心即代表对应地物的中心位置(如表1-7中的27~29号)。

(2) 符号(如水塔等)底线的中心,即为相应地物的中心位置(如表1-7中的31、32号)。

(3) 底部为直角形的符号(如独立树等),其底部直角顶点,即为相应地物中心的位置(表1-7中的39号)。

(4) 几种几何图形组成的符号(如旗杆等)的下方图形的中心,即为相应地物的中心位置(表1-7中的30号)。

表 1-7 地形图图示(摘录)

编号	符号名称	图例	编号	符号名称	图例
1	一般房屋 混——房屋结构 3——房屋层数		10	菜地	
2	简单房屋		11	旱地	
3	窑洞 1. 依比例尺的 2. 不依比例尺的 3. 房屋式窑洞		12	灌木林	
4	台阶		13	高压线	
5	花圃		14	低压线	
6	天然草地		15	电杆	
7	果园		16	电线架	
8	水生经济作物地		17	依比例尺的	
9	稻田		18	不依比例尺的	
			19	栅栏、栏杆	
			20	篱笆	

(续)

编号	符号名称	图例	编号	符号名称	图例
21	活树篱笆		31	水塔	
22	沟渠 1. 有堤岸的 2. 一般的 3. 有沟壑的		32	烟囱	
23	公路		33	气象站(台)	
24	简易公路		34	消防栓	
25	大车路		35	阀门	
26	小路		36	水龙头	
27	三角点 凤凰山 点名 高程 394.468		37	钻孔	
28	图根点 1. 埋石的 2. 不埋石的		38	路灯	
29	水准点		39	独立树 1. 阔叶 2. 针叶	
30	旗杆		40	岗亭、岗楼	
41	等高线 1. 直曲线 2. 计曲线 3. 间曲线				

(5) 下方没有底线的符号(如窑洞等)的下方两端点的中心点,即为对应地物的中心位置(如表1-7中的3号)。

### 3. 半比例符号

一些呈线状延伸的地物,其长度能按比例缩绘,而宽度不能按比例缩绘,需用一定的符号表示的称为半比例符号,也称线状符号,如铁路、公路、围墙、通信线等。半比例符号只能表示地物的位置(符号的中心线)和长度,不能表示宽度。表1-7中26号及13~21号。



#### 特别提示

比例符号与半比例符号的使用界限并不是绝对的。如公路、铁路等地物,在1:500~1:2000比例尺地形图上是用比例符号绘出的,但在1:5000比例尺以上的地形图上是按半比例符号绘出的。比例符号与非比例符号之间也是同样的情况。一般来说,测图比例尺越大,用比例符号描绘的地物越多,比例尺越小,用非比例符号表示的地物越多。

## 1.5.4 地貌符号

地貌形态多种多样,可按其起伏的变化程度分为平地、丘陵地、山地、高山地,见表1-8。

表1-8 地貌分类

地貌形态	地面坡度	地貌形态	地面坡度
平地	2°以下	山地	6°~25°
丘陵地	2°~6°	高山地	25°以上

图上表示地貌的方法有多种,对于大、中比例尺上要采用等高线法,对于特殊地貌则采用特殊符号表示。

### 1. 等高线的定义

等高线是地面上高程相等的相邻点连成的闭合曲线。如图1.30所示设想有一座高出平

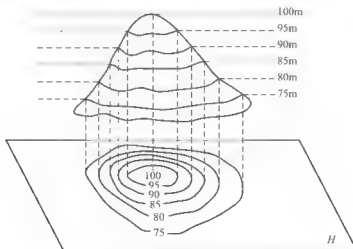


图1.30 用等高线表示地貌的方法

静水面的小山头,山顶被水淹没时的水面高程为100m,山头与水面相交形成的水涯线为一闭合曲线,曲线的形状随山头与水面相交的位置而定,曲线上各点的高程相等。例如,当水面高为95m时,曲线上任一点的高程均为95m;若水位继续降低至90m、85m,则水涯线的高程分别为90m、85m。将这些水涯线垂直投影到水平面 $H$ 上,并按一定的比例尺缩绘在图纸上,实际上就是将山头用等高线表示在地形图上。这些等高线的形状和高程,客观地显示了山头的空间形态。

## 2. 等高距与等高线平距

相邻两高程不同的等高线之间的高差称为等高距,常以 $h$ 表示。如图1.30中的等高距是5m。在同一幅地形图上,等高距是相同的。

相邻两高程不同的等高线之间的水平距离称为等高线平距,常以 $d$ 表示。等高线平距 $d$ 的大小与地面坡度有关。等高线平距越小,地面坡度越大;平距越大,坡度越小;坡度相等,平距相等。因此,可根据地形图上等高线的疏、密判定地面坡度的缓、陡,如图1.31所示。

等高距选择过小,会成倍地增加测绘工作量。对于山区,有时会因等高线过密而影响地形图的清晰度。等高距的选择,应该根据地形类型和比例尺大小,并按照相应的规范执行。表1-9是大比例尺地形图基本等高距参考值。

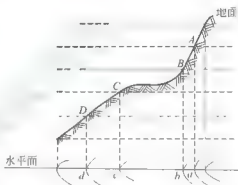


图 1.31 等高线平距

表 1-9 大比例尺地形图的基本等高距

单位: m

地貌类别	比 例 尺			
	1 : 500	1 : 1000	1 : 2000	1 : 5000
平坦地	0.5	0.5	1	2
丘陵地	0.5	1	2	5
山地	1	1	2	5
高山地	1	2	2	5

## 3. 等高线的分类

等高线可分为首曲线、计曲线、间曲线和助曲线。

(1) 首曲线也称基本等高线,是指从高程基准面起算,按规定的基本等高距描绘的等高线,用宽度为0.1mm的细实线表示,如图1.32(b)中的102m、104m、106m、108m等各条等高线,图1.32(a)中的42m、44m、46m、48m等高线。

(2) 计曲线是指从高程基准面起算,每隔四条基本等高线有一条加粗的等高线。为了读图方便,计曲线上也注出高程。如图1.32(b)中的100m等高线,图1.32(a)中的30m、40m、50m等高线。

(3) 间曲线是当基本等高线不足以显示局部地貌特征时,按二分之一基本等高距加绘的等高线,用长虚线表示。如图1.32(b)中的101m、107m等高线。按四分之一基本等高距加

绘的等高线，称为助曲线，用短虚线表示。如图 1.32(b) 中的 107.5m 等高线。间曲线和助曲线描绘时可以不闭合。

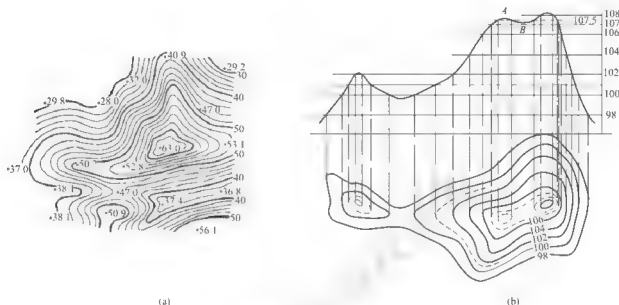


图 1.32 等高线的分类

#### 4. 典型地貌的等高线

地貌的形态虽然纷繁复杂，但通过仔细研究和分析就会发现它们是由几种典型的地貌综合而成的。了解和熟悉典型地貌的等高线特性，对于提高我们识读、应用和测绘地形图的能力很有帮助。

(1) 山头 and 洼地。山头的等高线特征如图 1.33 所示，洼地的等高线特征如图 1.34 所示。山头和洼地的等高线都是一组闭合曲线，但它们的高程注记不同。内圈等高线的高程注记大于外圈者为山头；反之，小于外圈者为洼地。也可以用示坡线表示山头或洼地。示坡线是垂直于等高线的短线，用以指示坡度下降的方向，如图 1.33 和图 1.34 所示。

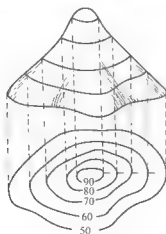


图 1.33 山头

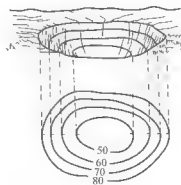


图 1.34 洼地

(2) 山脊和山谷。山的最高部分为山顶，从山顶向某个方向延伸的高地称为山脊。山脊

的最高点连线称为山脊线。山脊等高线的特征表现为一组凸向低处的曲线,如图 1.35 所示。

相邻山脊之间的凹部称为山谷,它是沿着某个方向延伸的洼地。山谷中最低点的连线称为山谷线,如图 1.36 所示。山谷等高线的特征表现为一组凸向高处的曲线。因山脊上的雨水会以山脊线为分界线而流向山脊的两侧,所以山脊线又称为分水线。在山谷中的雨水由两侧山坡汇集到谷底,然后沿山谷线流出,所以山谷线又称集水线。山脊线和山谷线合称为地性线。

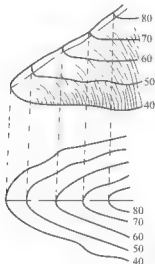


图 1.35 山脊等高线

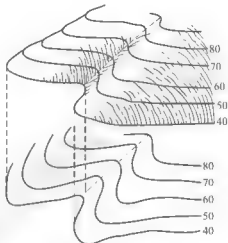


图 1.36 山谷等高线

#### 特别提示

地性线构成山地地貌的骨架,它在测图、识图和用图中具有重要意义。地形图上山地地貌显示是否真实、形象、逼真,主要看山脊线与山谷线表达得是否正确。

(3) 鞍部。鞍部是相邻两山头之间呈马鞍形的低凹部位(图 1.37 中的 S)。鞍部等高线的特征是对称的两组山脊线和两组山谷线,即在一圈大的闭合曲线内,套有两组小的闭合曲线。

(4) 陡崖和悬崖。陡崖是坡度在  $70^\circ$  以上或为  $90^\circ$  的陡峭崖壁,因用等高线表示将非常密集或重合为一条线,故采用陡崖符号来表示,如图 1.38(a)、(b)所示。悬崖是上部突出,下部凹进的陡崖。上部的等高线投影到水平面时,与下部的等高线相交,下部凹进的等高线用虚线表示,如图 1.38(c)所示。

认识了典型地貌的等高线特征以后,进而就能够认识地形图上用等高线表示的各种复杂地貌。如图 1.39 所示为某一地区综合地貌。

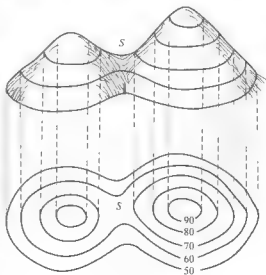


图 1.37 鞍部

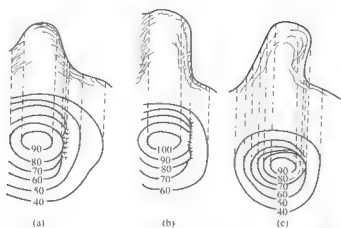


图 1.38 陡崖和悬崖

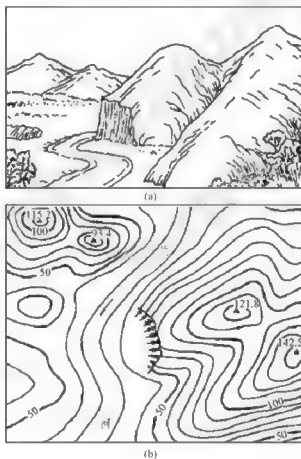


图 1.39 综合地貌等高线

### 5. 等高线的特性

- (1) 同一条等高线上各点的高程相等。
- (2) 等高线是闭合曲线，不能中断，如果不在同一幅图内闭合，则必定在相邻的其他图幅内闭合。
- (3) 等高线只有在峭壁或悬崖处才会重合或相交。
- (4) 同一幅地形图上等高距相等。等高线平距小，表示坡度陡；平距大，则坡度缓；

平距相等,则坡度相同。

(5) 等高线与山脊线、山谷线正交。

### 1.5.5 注记符号

地形图上对一些地物的性质、名称等加以注记和说明的文字、数字或特定的符号,称为地物注记,例如房屋的层数,河流的名称、流向、深度,工厂、村庄的名称,控制点的点号、高程,地面的植被种类等。

地图注记的构成元素包括:字体(形)、字号(尺寸)、字色(色彩)、字距等。

字体即字的形状,在地图上常用来表示制图对象的名称和类别、性质。

字号是指注记字的大小,常用来反映被注对象的等级和重要性。越是重要的事物,其注记越大,反之亦然。

字色和字体作用相同,常结合字体变化用于增强类别、性质差异。如水系注记用蓝色,等高注记用棕色,区域表面注记用红色,居民地注记用黑色等。

字距是指注记中间字的距离大小。字距大小以方便确定制图对象的分布范围为依据。各种注记的配置应分别符合下列规定。

#### 1. 文字注记

应使所指示的地物能明确判读(图 1.40)。一般情况下,字头应朝北。道路河流名称,可随现状弯曲的方向排列。各字侧边或底边,应垂直或平行于线状物体。各字间隔尺寸应在 0.5mm 以上;远间隔的也不宜超过字号的 8 倍。注字应避免遮断主要地物和地形的特征部分。

字 体 式 样		用 途	
宋 体	正常	成都	居民地名称
	变宽	渤海 长江	水系名称
	变窄	淮南	国名、区划名
	变宽	江苏 杭州	
等线体	正常	北京 开封 贵州	居民地名称
	变宽	太行山脉	山脉名称
	变窄	珠穆朗玛峰	山峰名称
	变宽	北京市	区划名称
仿宋体		信阳县 周口镇	居民地名称
隶 体		中国 美元	国名、国徽名
新魏体		浩陵旗	
美术体		台湾省	名 称

图 1.40 文字注记

#### 2. 高程的注记

应注于点的右方,离点位的间隔应为 0.5mm。

### 3. 等高线的记字头

应指向山顶或高地, 字头不应朝向图纸的下方。

## 1.5.6 地形图的识读

为了图纸管理和使用的方便, 在地形图的图框外有许多注记, 如图号、图名、接图表、图廓、坐标格网、三北方向线和坡度尺等。

### 1. 图名和图号

图名就是本幅图的名称, 常用本图幅内最著名的地名、最大的村庄或厂矿企业的名称来命名。图号即图的编号。图名和图号标在北图廓上方的中央, 如图 1.41 所示。

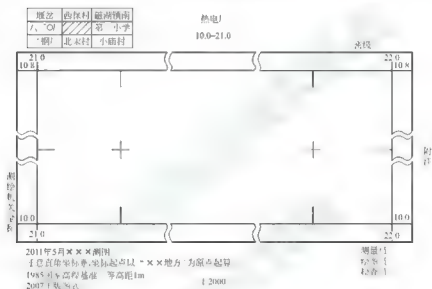


图 1.41 地形图图外注记

### 2. 接图表

说明本图幅与相邻图幅的关系, 供索取相邻图幅时使用。通常是中间一格画有斜线的代表本图幅, 四角分别注明相应的图号或图名, 并绘注在北图廓的左上方。如图 1.41 所示。

### 3. 图廓和坐标格网线

图廓是图幅四周的范围线。矩形图幅有内图廓和外图廓之分。内图廓是地形图分幅时的坐标格网线, 也是图幅的边界线。外图廓是距内图廓以外一定距离绘制的加粗平行线, 仅起装饰作用。在内图廓外四角处注有坐标值, 并在内图廓线内侧, 每隔 10cm 绘有 5mm 的短线, 表示坐标格网线的位置。在图幅内每隔 10cm 绘有坐标格网交叉点, 如图 1.41 所示。

梯形图幅的图廓有三层: 内图廓、分图廓和外图廓。内图廓是经纬线, 也是该图幅的边界线。如图 1.42 所示中西图廓经线是东经  $128^{\circ}45'$ , 南图廓是北纬  $46^{\circ}50'$ 。内、外图廓之间的黑白相间的线条是分图廓, 每段黑线或白线的长度, 表示实地经差或纬差为  $1'$ 。分图廓与内图廓之间, 注记了以千米为单位的平面直角坐标值, 如图 1.42 所示中的 5189 表示纵坐标为 5189km (从赤道算起)。其余 90、91 等, 其千米的千百位的数都是 51, 故省略。横坐标为 22482, 22 为该图幅所在投影带的带号, 482 表示该纵线的横公里数。外图廓以外还有图示比例尺、三北方向、坡度尺等, 是为了便于在地形图上进行量算而设置的。

各种图解,称为量图图解。

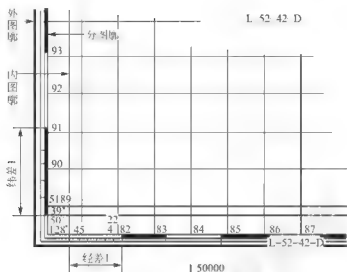


图 1.42 梯形图幅图廓

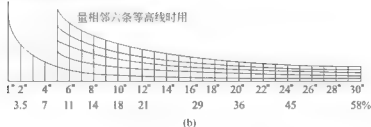
#### 4. 三北方向线及坡度尺

在许多中、小比例尺的南图廓线的右下方,还绘有真子午线、磁子午线和坐标纵轴(中央子午线)三者之间的角度关系,常称为三北方向线,如图 1.43(a)所示。该图中,磁偏角为  $9^{\circ}50'$ (西偏),子午线收敛角为  $0^{\circ}05'$ (西偏)。利用该关系图,可对图上任一方向的真方位角、磁方位角和坐标方位角三者间作相互换算。



(a)

量相邻两条等高线时用



(b)

图 1.43 三北方向线及坡度尺

在中比例尺地形图的南图廓左下方还常绘有坡度比例尺,如图1.43(b)所示。它是一种量测坡度的图示尺,按以下原理制成:坡度  $i = \tan \alpha = \frac{h}{d \times M}$ ,  $d$  为图上等高线的平距,  $h$  为等高距,  $M$  为比例尺分母,在用分规卡出图上相邻等高线的平距后,可在坡度比例尺上读出相应的地面坡度数值。坡度尺的水平底线下方注有两行数字,上行是用坡度角表示的坡度,下行是对应的倾斜百分率表示的坡度。

#### 5. 投影方式、坐标系、高程系统

地形图测绘完成后,都要在图上标注本图的投影方式、坐标系和高程系统,以备日后使用时参考。

坐标系指该图幅是采用哪种坐标系完成的,如1980年国家大地坐标系,城市坐标系,独立直角坐标系等。

高程系统指本图所采用的高程基准,如1985国家高程基准或假定高程基准。



#### 特别提示

地形图的阅读,可按先图外后图内、先地物后地貌、先主要后次要、先注记后符号的基本顺序,并依照相应的《地形图图示》逐一阅读。

## 项目小结

本项目主要介绍了地面点位置的表示方法,测量工作的基本概念和基本原则,地球曲率对观测量的影响;地形图的比例尺,地形图的分幅与编号,地物、地貌的表示方法,地形图的识读。

本项目的重点内容是:大地水准面、相对高程、绝对高程、高差,独立平面直角坐标系,测量的基本工作和基本原则,地球曲率对水平距离、高程和水平角的影响;比例尺及比例尺精度,地物、地貌的概念,地物符号与地形图图示,等高线的概念、分类、特性,等高线表示各种地貌的方法,矩形分幅与编号。本项目的难点是:高斯平面直角坐标,比例尺精度,等高线表示各种地貌的方法,梯形分幅。

本项目的教学目标是使学生掌握大地水准面、高程、高差、比例尺、等高线等基本概念;掌握独立平面直角坐标系、测量的基本工作和基本原则、地物符号、等高线表示各种地貌的方法、矩形分幅等知识;熟悉大地坐标系、地球曲率对水平距离、高程和水平角的影响、梯形分幅;能进行地形图的识读。

## 习 题

### 一、填空题

1. 水准面处处与\_\_\_\_\_垂直。
2. 水在静止时的表面叫做\_\_\_\_\_。

3. 由大地水准面所包围的形体叫做\_\_\_\_\_。
4. \_\_\_\_\_是测量工作的基准面，\_\_\_\_\_是测量工作的基准线。
5. 我国目前采用的大地坐标系是\_\_\_\_\_。
6. 高差是两点间的\_\_\_\_\_之差。
7. 地面点至任意水准面的铅垂距离叫做\_\_\_\_\_，地面点至大地水准面的\_\_\_\_\_叫做绝对高程。

8. 我国目前采用的高程系统是\_\_\_\_\_。
9. 高斯投影后，中央子午线即为\_\_\_\_\_。
10. 在测量直角坐标系中，纵轴为\_\_\_\_\_轴，向\_\_\_\_\_为正。
11. 在测量直角坐标系中，坐标系是\_\_\_\_\_时针的。
12. 等高线平距是相邻两等高线之间的\_\_\_\_\_。
13. \_\_\_\_\_是相邻两等高线之间的高差。
14. 地形图上某一线段的长度与地面上相应线段的水平距离之\_\_\_\_\_称为比例尺。
15. 地形图的主要内容包含\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_三大部分。
16. 地形图上\_\_\_\_\_所代表的实地水平距离叫做比例尺精度。
17. 比例尺越\_\_\_\_\_，表示地表状况越详细。
18. 地形图的分幅可分为\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
19. 地形是\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_的总称。
20. 在同一幅地形图上，等高线是\_\_\_\_\_的。
21. 等高线与山脊线、山谷线\_\_\_\_\_。
22. 地物符号包括\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
23. 等高距越小，显示地貌就越\_\_\_\_\_；等高距越大，显示地貌就越\_\_\_\_\_。
24. 等高线分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。

## 二、选择题

1. 高程的基准面是( )。
  - A. 任意水准面
  - B. 水平面
  - C. 大地水准面
  - D. 地球自然表面
2. 大地水准面是( )。
  - A. 大地体的表面
  - B. 地球的自然表面
  - C. 是一个旋转椭球体的表面
  - D. 参考椭球的表面
3. 在测量平面直角坐标系中，横轴为( )。
  - A.  $x$ 轴，向北为正
  - B.  $y$ 轴，向北为正
  - C.  $x$ 轴，向东为正
  - D.  $y$ 轴，向东为正
4. 设有A、B两点，A点高程15.032m，B点高程为14.729m，则A、B两点间的高差 $h_{AB}$ 为( )m。
  - A. 0.303
  - B. -0.303
  - C. 29.761
  - D. -29.761
5. 地理坐标可分为( )。
  - A. 天文坐标和大地坐标
  - B. 天文坐标和参考坐标
  - C. 参考坐标和大地坐标
  - D. 三维坐标和二维坐标
6. 测量工作中以极坐标表示点位时，其角值通常是从( )方向计算的。
  - A. 北方方向为准按顺时针
  - B. 北方方向为准按逆时针
  - C. 东方方向为准按顺时针
  - D. 东方方向为准按逆时针
7. 测量工作的基本任务是( )。
  - A. 确定地面点的位置
  - B. 确定点的平面坐标

- C. 确定地面点的高程 D. 测绘地形图
8. 在( )的范围内, 可以用水平面代替球面进行距离测量。
- A. 以 20km 为半径 B. 以 10km 为半径
- C. 50km<sup>2</sup> D. 10km<sup>2</sup>
9. 对高程测量, 用水平面代替水准面的限度是( )。
- A. 在以 10km 为半径的范围内可以代替 B. 在以 20km 为半径的范围内可以代替
- C. 不论多大范围, 都可代替 D. 不得代替
10. 1:2000 地形图的比例尺精度为( )。
- A. 2m B. 0.2m
- C. 1m D. 0.1m
11. 在地形图上有高程分别为 26m、27m、28m、29m、30m、31m、32m 的几条相邻的等高线, 则需加粗的等高线为( )。
- A. 26m、31m B. 27m、32m
- C. 29m D. 30m
12. 在地形图上, 长度依测图比例尺而宽度不依比例尺表示的地物符号是( )。
- A. 依比例符号 B. 不依比例符号
- C. 半依比例符号 D. 地物注记
13. 地形是( )的总称。
- A. 地物与地貌 B. 地貌与地理
- C. 地理与地势 D. 地物与地势
14. 在图上适当位置印出图内所使用的图式符号及说明通常叫做( )。
- A. 图样 B. 图注
- C. 图例 D. 图标
15. 下列说法正确的是( )。
- A. 等高距越大, 表示坡度越大 B. 等高距越小, 表示坡度越大
- C. 等高线平距越大, 表示坡度越小 D. 等高线平距越小, 表示坡度越小
16. 我国基本比例尺地形图的分幅是以( )地形图为基础, 按规定的经差和纬差分图幅的。
- A. 1:500 B. 1:100000
- C. 1:1000000 D. 1:10000

### 三、简答题

1. 测绘学主要包括哪些学科? 它们的研究内容是什么?
2. 测绘学的任务及作用是什么?
3. 数字测图的实质是什么? 什么是地面数字测图?
4. 数字测图发展经历了哪两个阶段?
5. 什么是参考椭球面? 它在测量工作中的作用是什么?
6. 测量中常用坐标系有几种? 测量中的平面直角坐标系与数学中的坐标系有什么区别? 为什么要规定测量平面直角坐标系的象限按顺时针编号?
7. 什么是高斯投影? 高斯平面直角坐标系是怎么建立的?
8. 北京某点的大地经度为 117°20', 杭州某点的大地经度是 120°10', 试计算它们所在 6°带和 3°带的带号及中央子午线的经度。
9. 测量的基本原则是什么? 测量的三项基本工作是什么?
10. 用水准面代替水准面对距离、高程和水平角有什么影响? 在多大范围内可以用水平面代替水准面? 为什么?
11. 已知某点在 21 带, 位于中央子午线以西 206564.31m 处, 试写出该点高斯平面直角坐标  $y$  的自

然坐标和国家统一坐标。

12. 什么叫做地形图?
13. 什么叫做地形图比例尺? 它有几种类型?
14. 什么是比例尺精度? 它对测图和设计用图有什么意义?  $1:5000$  地形图的比例尺精度是多少?
15. 什么是地物和地貌? 地形图上的地物符号分为哪几类? 并试举例说明。
16. 什么是等高线、等高距和等高线平距? 它们与地面坡度有何关系?
17. 等高线有哪些特性?
18. 地形图的图外注记包括哪些内容?

# 项目2

## 测量误差的基本知识

### 教学目标

通过对一些外业观测值的分析,掌握测量误差的定义、误差的分类以及偶然误差的特性;了解测量误差对测量成果的影响,掌握评定测量成果的精度指标;通过数据计算求得观测值的最可靠值,并对观测值进行精度评定,以便判断成果是否满足工程建设的要求。

### 教学要求

能力目标	知识要点	权重
掌握测量误差的概念	测量误差的不可避免性,测量误差的定义	10%
熟悉系统误差的性质及削弱办法	同一性、单向性、累积性	5%
掌握偶然误差的特性	有限性、单峰性、对称性、抵偿性	10%
掌握评定精度的指标	中误差、相对误差、极限误差	10%
熟悉中误差的计算	用真误差及观测值改正数计算中误差	15%
掌握等精度观测平差值的计算	多次重复观测边长的平差值计算	10%
掌握误差传播定律	线性函数函数值的中误差计算	15%
熟悉误差传播定律的具体应用	平均值的中误差计算,利用三角形闭合差计算测角中误差	15%
了解不等精度观测平差值的计算	加权平均值的计算	5%
了解不等精度观测平差值的精度评定	单位权中误差、平差值中误差	5%



## 项目导读

在一定的外界条件下对某量进行多次观测,尽管观测者使用精密的仪器和工具,采用合理的观测方法,以及认真负责的工作态度,但观测结果之间往往还是存在着差异。这种差异说明了观测中存在误差,而且观测误差是不可避免的。那么如何对这些带有误差的观测数据进行处理,求得最可靠值,以及怎样判断最可靠值是否满足精度要求?



## 引例

水准测量闭合路线的高差总和往往不等于零;观测水平角两个半测回测得的角值不完全相等;距离往返丈量的结果总有差异。这些都说明观测值中有误差存在。

## 任务 2.1 误差的基本概念

### 2.1.1 测量误差的来源

任何观测值都包含误差。观测对象客观存在的量,称为真值,通常用  $X$  表示。如三角形内角和的真值为  $180^\circ$ 。每次观测所得的数值,称为观测值,通常用  $L$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) 表示。观测值与真值的差数,称为真误差,通常用  $\Delta_i$  表示,有

$$\Delta_i = L_i - X \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (2-1)$$

产生观测误差的因素是多方面的,概括起来有以下三个。

第一,观测时由于观测者的感觉器官的鉴别能力存在局限性,在仪器的对中、整平、照准、读数等方面都会产生误差。同时,观测者的技术熟练程度也会对观测结果产生一定影响。

第二,测量中使用的仪器和工具,在设计、制造、安装和校正等方面不可能十分完善,致使测量结果产生误差。

第三,观测过程中的外界条件,如温度、湿度、风力、阳光、大气折光、烟雾等时刻都在变化,必将对观测结果产生影响。

通常把上述的人、仪器、客观环境这三种因素综合起来称为观测条件。

因受上述因素的影响,测量中存在误差是不可避免的。误差与粗差是不同的,粗差是指观测结果中出现的错误,如测错、读错、记错等,通常所说的“测量误差”不包括粗差。

测量中,一般把观测条件相同的各次观测,称为等精度观测;观测条件不同的各次观测,称为非等精度观测。

### 2.1.2 测量误差的分类

根据观测误差的性质不同,观测误差可分为系统误差和偶然误差两类。

#### 1. 系统误差

在相同观测条件下,对某量进行一系列观测,若出现的误差在数值、符号上保持不变或按一定的规律变化,这种误差称为系统误差。

它是由仪器制造或校正不完善,观测者生理习性 & 观测时的外界条件等引起的。如用

名义长度为 30m 而实际长度为 29.99m 的钢卷尺量距, 每量一段就有将距离量长 1cm 的误差。这种量距误差, 其数值和符号不变, 且量的距离愈长, 误差愈大。因此, 系统误差在观测成果中具有累积性。

系统误差的特性: 同一性、单向性和累积性。

系统误差在观测成果中的累积性, 对成果质量影响显著。但它们的符号和大小又有一定的规律性, 因此, 可在观测中采取相应措施予以消除。

系统误差消除的方法有。

(1) 测定仪器误差, 对观测结果加以改正。如进行钢尺检定, 求出尺长改正数, 对量取的距离进行尺长改正。

(2) 测前对仪器进行检校, 以减少仪器校正不完善的影响。如水准仪的  $i$  角检校, 使其影响减到最小限度。

(3) 采用合理观测方法, 使误差自行抵消或削弱。如水平角观测中, 采用盘左、盘右观测, 可消除视准轴误差和横轴误差; 如水准仪的  $i$  角可以通过前后视距相等来削弱。

## 2. 偶然误差

在相同观测条件下, 对某量进行一系列观测, 若出现的误差在数值、符号上有一定的随机性, 从表面看并没有明显的规律性, 但就大量误差的总体而言, 具有一定的统计规律, 这种误差称为偶然误差。

偶然误差是许多人们所不能控制的微小的偶然因素(如人眼的分辨能力、仪器的极限精度、外界条件的时刻变化等)共同影响的结果。如用经纬仪测角时的照准误差; 水准测量中, 在标尺上读数时的估读误差等。

在测量过程中, 通常偶然误差和系统误差是同时出现的。由于系统误差具有一定的规律性, 只要采取相应措施便可加以消除或削弱, 偶然误差则不能完全消除。

除上述两类性质的误差外, 还可能发生错误, 例如, 测错、记错、算错等。错误的发生是由于观测者在工作中粗心大意造成的, 又称粗差。凡含有粗差的观测值应舍去不用, 并重测。

为了提高观测成果的质量, 同时也为了发现和消除错误, 在测量工作中, 一般都要进行多于必要的观测, 称多余观测。例如, 测量一平面三角形的内角, 只需要测得其中的任意两个角度, 即可确定其形状, 但实际上也测出第三个角, 以便检校内角和, 从而判断结果的正确性。



### 知识链接

由于观测误差的存在, 通过多余观测必然会发现观测结果之间不一致或不符合应有关系而产生不符值, 如三角形的内角和不等于是  $180^\circ$ , 因此必须对这些带有偶然误差的观测值进行处理, 消除这些不符值, 得到观测值的最可靠值, 同时还需要对观测结果进行精度评定, 这就是平差要解决的问题。

### 2.1.3 偶然误差的特性

偶然误差产生的原因是随机的, 只有通过大量观测才能揭示其内在的规律, 这种规律具有重要的实用价值。现通过一个实例来阐述偶然误差的统计规律。

在相同的观测条件下, 对 358 个三角形独立地观测了其三个内角, 每个三角形其内角



每一误差区间上方的长方形面积,就代表误差出现在该区间的相对个数。例如图中有阴影的长方形面积就代表误差出现在 $+6'' \sim +9''$ 区间内的相对个数为0.092。这种图称为直方图,其特点是能形象地反映出误差的分布情况。

如果继续观测更多的三角形,即增加误差的个数,当 $n \rightarrow \infty$ 时,各误差出现的频率也就趋近于一个完全确定的值,这个数值就是误差出现在各区间的概率。此时如将误差区间无限缩小,那么图2.1中各长方条顶边所形成的折线将成为一条光滑的连续曲线。这个曲线称为误差分布曲线,也叫正态分布曲线。曲线上任一点的纵坐标 $y$ 均为横坐标 $\Delta$ 的函数,其函数形式为:

$$y = f(\Delta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{\Delta^2}{2\sigma^2}} \quad (2-4)$$

式中: $e$ ——自然对数的底( $=2.7183$ );

$\sigma$ ——观测值的标准差,其几何意义是分布曲线拐点的横坐标(将在任务2.2中讨论),其平方 $\sigma^2$ 称为方差。

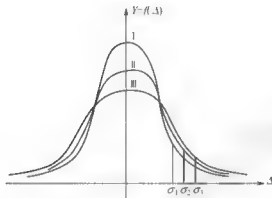


图 2.2 三组观测分布曲线

如图2.2所示中有三条误差分布曲线I、II及III,代表不同标准差 $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$ 及 $\sigma_3$ 的三组观测。由图中看出,曲线I较高而陡峭,表明绝对值较小的误差出现的概率大,误差分布密集;曲线II、III较低而平缓,误差分布离散。因此,前者的观测精度高,后者则较低。由误差分布的密集和离散程度,可以判断观测值的精度高低。



#### 特别提示

数学中的求和符号为 $\sum$ ,而测量中的求和习惯上用中括号表示,即式(2-3)中 $[\Delta] = \Delta_1 + \Delta_2 + \dots + \Delta_n$ 。

$$\Delta_0 = \sum_{i=1}^n \Delta_i$$



#### 知识链接

偶然误差削弱的方法有:适当提高仪器等级;增加多余观测,求最可靠值(平差值)。

各种误差处理原则:

- ① 粗差(严格意义上不能叫误差)——细心,多余观测,检核舍弃。
- ② 系统误差——找出规律,加以改正。
- ③ 偶然误差——多余观测,规定限差。

## 任务 2.2 评定精度的标准

为了衡量观测值的精度高低,当然可以按前述的三种方法,把一组相同条件下得到的误



计算过程见表 2-2, 先算  $\Delta$ , 再算  $\Delta^2$ , 求和, 再根据观测数  $n$  计算中误差, 结果如下:

$$m_1 = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}} = \pm \sqrt{\frac{\sum \Delta^2}{n}} = \pm \sqrt{\frac{72}{10}} = \pm 2.7''$$

$$m_2 = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}} = \pm \sqrt{\frac{\sum \Delta^2}{n}} = \pm \sqrt{\frac{130}{10}} = \pm 3.6''$$

由于  $m_1 < m_2$ , 所以第一组观测值比第二组观测值的精度高。因为第二组观测值中有较大的误差, 用平方能反映较大误差的影响。因此, 测量工作中常采用中误差作为衡量精度的标准。

### 特别提示

(1) 某个观测值的真误差小, 并不能说明它的精度就高, 因为精度高低是由中误差来衡量的。

(2) 在上述中误差的计算公式中,  $\Delta$  为同一观测值的不同次观测的真误差, 它也可以是不同观测值的真误差, 但前提是各观测值之间要互相独立, 即该观测值产生的误差与其他观测值的误差之间没有相关性。

## 2. 相对中误差

在测量工作中, 有时用中误差还不能完全表达观测结果的精度。例如, 用钢卷尺丈量 200m 和 40m 两段距离, 量距的中误差都是  $\pm 2\text{cm}$ , 但不能认为两者的精度是相同的, 因为量距的误差与其距离的长短有关。为此, 用相对中误差描述观测值的精度。相对中误差是观测值的中误差与观测值的比值, 通常用分子为 1 的分数形式表示。上述例子中, 前者的相对中误差为  $\frac{0.02}{200} = \frac{1}{10000}$ , 而后者则为  $\frac{0.02}{40} = \frac{1}{2000}$ , 前者分母大, 比值小, 量距精度高于后者。

在距离测量中, 有时也采用往返观测的较差与观测值平均值之比来衡量精度, 称为相对误差。

## 3. 允许误差

中误差是反映误差分布的密集或离散程度的, 它代表一组观测值的精度高低, 不是代表个别观测值的质量。因此, 要衡量某一观测值的质量, 决定其取舍, 还要引入允许误差的概念。允许误差又称为极限误差, 简称限差。偶然误差的第一特性说明, 在一定条件下, 误差的绝对值不会超过一定的界限。根据误差理论可知, 在等精度观测的一组误差中, 误差落在区间  $(-\sigma, +\sigma)$ 、 $(-2\sigma, +2\sigma)$ 、 $(-3\sigma, +3\sigma)$  的概率分别为:

$$\left. \begin{aligned} P(-\sigma < \Delta < +\sigma) &\approx 68.3\% \\ P(-2\sigma < \Delta < +2\sigma) &\approx 95.4\% \\ P(-3\sigma < \Delta < +3\sigma) &\approx 99.7\% \end{aligned} \right\} \quad (2-7)$$

式(2-7)说明, 绝对值大于两倍中误差的误差, 其出现的概率为 4.6%, 特别是绝对值大于三倍中误差的误差, 其出现的概率仅为 0.3%, 已经是概率接近于零的小概率事件, 或者说是实际上的不可能事件。因此在测量规范中, 为确保观测成果的质量, 通常规定三倍或两倍中误差为偶然误差的允许误差或限差, 即









$$\delta^2 = \frac{1}{n^2} (\Delta_1 + \Delta_2 + \cdots + \Delta_n)^2 = \frac{[\Delta^2]}{n^2} + 2 \frac{[\Delta \Delta_i]}{n^2}$$

当  $n \rightarrow \infty$  时, 上式右端第二项趋于 0, 则

$$\delta^2 = \frac{[\Delta^2]}{n^2} = \frac{1}{n} \times \frac{[\Delta^2]}{n} = \frac{1}{n} \times m^2$$

将上式代入式(2-18)得:  $\frac{[\Delta \Delta]}{n} = \frac{[vv]}{n} + \frac{1}{n} \times m^2$

$$m^2 = \frac{[vv]}{n} + \frac{1}{n} \times m^2$$

$$m^2 \left(1 - \frac{1}{n}\right) = \frac{[vv]}{n}$$

$$m^2 = \frac{[vv]}{n} \cdot \frac{n}{n-1} = \frac{[vv]}{n-1}$$

$$\text{则 } m = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} \quad (2-19)$$

式(2-19)为等精度观测中用观测值的改正数计算观测值中误差的公式, 称为白塞尔公式。

**【例 2-5】** 对一段距离进行 5 次观测, 其观测结果见表 2-3, 求该组距离观测值的中误差。

表 2-3 距离观测及中误差计算

次 序	观测值 $l$ (m)	改正数 $v$ (mm)	$vv$ (mm <sup>2</sup> )
1	123.457	-5	25
2	123.450	+2	4
3	123.453	-1	1
4	123.449	+3	9
5	123.451	+1	1
$\Sigma$	617.260	0	40

解:  $\bar{L} = \frac{L_1 + L_2 + \cdots + L_n}{n} = 123.452\text{m}$ , 各观测值的改正数  $v_i = \bar{L} - L_i$ , 具体数值见表 2-3

$$m = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} = \pm \sqrt{\frac{40}{5-1}} = \pm \frac{6.32}{2} = \pm 3.16\text{mm}$$

2) 等精度观测平差值的精度评定

由前述可知, 等精度观测的平差值就是算术平均值, 要评定它的精度, 可以把算术平均值看成是各个观测值的线性函数。

**【例 2-6】** 算术平均值  $\bar{L} = \frac{L_1 + L_2 + \cdots + L_n}{n}$ , 已知: 各观测值的中误差为  $m_1, m_2, \cdots, m_n = m$ , 求算术平均值(平差值)的中误差  $m_{\bar{L}}$ 。

解: 对算术平均值的表达式求全微分:  $d\bar{L} = \frac{1}{n} dL_1 + \frac{1}{n} dL_2 + \cdots + \frac{1}{n} dL_n$

根据误差传播定律有:

$$m_l = \pm \sqrt{\left(\frac{1}{n}\right)^2 m_1^2 + \left(\frac{1}{n}\right)^2 m_2^2 + \cdots + \left(\frac{1}{n}\right)^2 m_n^2} = \pm \sqrt{\left(\frac{1}{n}\right)^2 m^2 \times n} = \pm \frac{m}{\sqrt{n}} \quad (2-20)$$

$$= \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n(n-1)}} \quad (2-21)$$

注意: 式(2-21)是用观测值改正数的形式来表达平均值的中误差。

#### 特别提示

(1) 由式(2-20)可以看出, 算术平均值的中误差一定小于单次观测值的中误差, 即平差后精度一定会有所提高。

(2) 观测次数越多, 平差值的中误差越小, 精度越高。

#### 知识链接

误差传播定律一般是指已知观测值的中误差, 再求出函数值的中误差。而有时由于不知道观测值的真误差, 所以也无法直接利用公式  $m = \sqrt{\frac{[vv]}{n}}$  求出观测值的中误差, 但是函数值的真误差可求, 因此可以先求出函数值的中误差, 再通过误差传播定律的逆向应用, 求出观测值的中误差。这种误差传播定律的逆向应用在计算测角中误差时特别方便。

**【例 2-7】** 已知各三角形内角和的观测值见表 2-1, 求测角中误差  $m$ 。

表 2-4 三角形内角和观测值及中误差计算表

次	观测值 (° ' ")	闭合差 $\Delta$ (")	$\Delta\Delta$ (")
1	180 00 10.3	+10.3	106.1
2	179 59 57.2	-2.8	7.8
3	179 59 49.0	-11.0	121
4	180 00 01.5	+1.5	2.6
5	180 00 02.6	+2.6	6.8
$\Sigma$		+1.6	244.3

**解:** 先计算出各三角形闭合差(见表 2-1), 再利用真误差求三角形闭合差的中误差(即函数值的中误差), 得

$$m_{\Delta} = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}} = \pm \sqrt{\frac{244.3}{5}} = \pm 7.0''$$

列函数式: 三角形内角和的真误差(闭合差)  $\Delta = A + B + C - 180^\circ$  (其中三个内角  $A$ 、 $B$ 、 $C$  为等精度观测则  $m_A = m_B = m_C = m$ )。

根据误差传播定律得:





## 项目小结

本项目对误差的来源、误差的分类、偶然误差的特性作了较详细的阐述,提出了评定观测质量好坏的精度指标,一般情况采用中误差,但对距离测量而言,需用相对中误差作为衡量精度的指标。由此提出了相对中误差的概念,同时还提出了允许误差的概念,作为衡量外业观测是否超限的衡量标准。

除了上述一些概念外,还讲如何用真误差来计算观测值的中误差,如何计算等精度观测值的平差值,以及如何用观测值改正数计算等精度观测值的中误差;讲述了误差传播定律及其具体应用;提出了权的概念,推导了不等精度观测的平差值,以及不等精度观测平差值的中误差计算公式。

本项目的教学目标是使学生掌握误差的概念、分类和偶然误差的特性,应用不同的中误差计算公式评定等精度观测值的精度;熟悉误差传播定律及其应用,了解不等精度观测平差值的计算,以及评定其精度的方法。

重点应掌握的公式:

$$(1) \text{ 等精度观测值中误差的计算公式: } m = +\sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}}; m = +\sqrt{\frac{[vv]}{n-1}}.$$

$$(2) \text{ 误差传播定律: } m_{\dot{L}} = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)^2 m_1^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\right)^2 m_2^2 + \cdots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n}\right)^2 m_n^2}.$$

$$(3) \text{ 等精度观测平差值中误差的计算公式: } \hat{m}_{\hat{L}} = \pm \frac{m}{\sqrt{n}}.$$

$$(4) \text{ 不等精度观测平差值计算公式(加权平均): } \hat{L} = \frac{P_1 L_1 + P_2 L_2 + \cdots + P_n L_n}{P_1 + P_2 + \cdots + P_n} = \frac{[PL]}{[P]}.$$

$$(5) \text{ 不等精度观测单位权中误差的计算公式: } u = \pm \sqrt{\frac{P[\Delta\Delta]}{n}}; u = \pm \sqrt{\frac{P[vv]}{n-1}}.$$

$$(6) \text{ 不等精度观测平差值中误差的计算公式: } m_{\hat{L}} = \pm \frac{u}{\sqrt{[P]}}.$$

## 习 题

## 一、填空题

- 偶然误差服从于一定的\_\_\_\_\_规律。
- 真误差为观测值与\_\_\_\_\_之差。
- 绝对值相等的正、负误差出现的可能性\_\_\_\_\_。
- 偶然误差的算术平均值随观测次数的无限增加而趋向于\_\_\_\_\_。

## 二、选择题

- 设对某角观测4测回,每一测回的观测中误差为 $\pm 8.5''$ ,则算术平均值的中误差为( )。  
A.  $\pm 2.1''$       B.  $\pm 1.0''$       C.  $\pm 4.2''$       D.  $\pm 8.5''$
- 设对某角观测一测回的观测中误差为 $\pm 3''$ ,现欲使该角的观测精度达到 $\pm 1.4''$ ,则需观测( )个测回。

A. 2

B. 3

C. 4

D. 5

3. 设单位权中误差为 $\pm 4''$ ,某观测值的中误差为 $\pm 8''$ ,则该观测值的权为( )。
  - A. 0.25
  - B. 0.5
  - C. 2
  - D. 4
4. 观测一四边形的三个内角,中误差分别为 $\pm 4''$ 、 $\pm 5''$ 、 $\pm 6''$ ,则第4个角的中误差为( )。
  - A.  $\pm 5''$
  - B.  $\pm 7''$
  - C.  $\pm 9''$
  - D.  $\pm 15''$
5. 有一长方形建筑,测得其长为40m,宽为10m,测量中误差分别为 $\pm 2\text{cm}$ 及 $\pm 1.5\text{cm}$ ,则其周长的中误差为( )cm。
  - A. 3
  - B. 4
  - C. 5
  - D. 6
6. 在一定观测条件下,偶然误差的绝对值( )超过一定的限值。
  - A. 可能会
  - B. 会
  - C. 通常会
  - D. 不会
7. 单位权指数等于( )。
  - A. 中误差
  - B. 1
  - C. 0
  - D. 中误差的平方
8. 引起测量误差的因素有很多,概括起来有以下三个方面( )。
  - A. 观测者、观测方法、观测仪器
  - B. 观测仪器、观测者、外界因素
  - C. 观测方法、外界因素、观测者
  - D. 观测仪器、观测方法、外界因素
9. 由于钢尺的尺长误差对距离测量所造成的误差属于( )。
  - A. 系统误差
  - B. 偶然误差
  - C. 既不是偶然误差也不是系统误差
  - D. 可能是偶然误差也可能是系统误差
10. 估读数差对水平角读数的影响通常属于( )。
  - A. 偶然误差
  - B. 系统误差
  - C. 既不是偶然误差也不是系统误差
  - D. 可能是偶然误差也可能是系统误差

### 三、简答题

1. 偶然误差的特性有哪些?
2. 衡量测量精度的指标有哪些?
3. 测量观测条件主要包括哪几方面?
4. 什么是误差传播定律?

### 四、计算题

1. 对某边观测6测回,观测结果为114.207m、114.211m、114.210m、114.232m、114.226m、114.224m,试求其算术平均值、算术平均值中误差和相对中误差。
2. 测得某长方形建筑长 $a=32.20\text{m}$ ,测得精度为 $m_a=\pm 0.02\text{m}$ ;宽 $b=15.10\text{m}$ ,测量精度为 $m_b=\pm 0.01\text{m}$ ,求建筑面积及精度。
3. 测得某圆的半径 $r=100.01\text{m}$ ,观测中误差为 $m_r=\pm 0.02\text{m}$ ,求周长及其中误差。
4. 如图2.5所示P点高程分别由A、B、C三个已知水准点通过水准测量求得,水准路线长度如图示,由各条线路分别计算得P点高程为39.222m、39.285m、39.274m,求P点高程的平差值及平差值的中误差?



图 2.5 计算题 4 图

## 第二篇

## 平面控制测量



# 项目3

## 角度测量

### 教学目标

通过本项目的学习,掌握角度测量的原理,能够熟练操作经纬仪及全站仪,具备使用经纬仪和全站仪进行水平角与竖直角测量的能力,熟悉经纬仪检校方法;能初步分析产生角度测量误差的原因,并能够采用合理的观测方法,获取可靠的角度值。

### 教学要求

能力目标	知识要点	权重
掌握角度测量的原理	水平角测量原理	5%
	竖直角测量原理	5%
能使用光学经纬仪熟练地测量水平角与竖直角,熟悉经纬仪的检校	光学经纬仪的结构	5%
	光学经纬仪的使用	10%
	水平角测量的方法	10%
	竖直角测量的方法	10%
	经纬仪的检验校正	10%
	全站仪的结构	10%
能使用全站仪进行角度测量	光电度盘测角原理	5%
	使用全站仪进行角度测量	15%
	测角误差产生的原因	5%
能初步分析产生角度误差的原因,并采取相应的措施削减误差	削减角度测量误差的方法	10%



## 任务 3.1 经纬仪角度测量

### 3.1.1 角度测量原理

#### 1. 水平角测量原理

一点到两目标点的方向线垂直投影到水平面上所成的角称为水平角，其取值范围是  $0^\circ \sim 360^\circ$ ，一般用  $\beta$  表示。如图 3.2 所示，由地面一点  $A$  到  $B$ 、 $C$  两个目标的方向线  $AB$  和  $AC$ ，沿铅垂线方向垂直投影到水平面  $P$  上的两线段分别为  $ab$  和  $ac$ ，其夹角  $\beta$  即为  $AB$ 、 $AC$  方向间的水平角。它等于通过  $AB$  和  $AC$  两线段所形成的两个竖直面之间所夹的两面角。两面角的棱线  $Aa$  是一条铅垂线。根据其概念，垂直于  $Aa$  的任一水平面  $P$  与两竖直面的交线均可用来度量水平角  $\beta$  值。

如果在铅垂线  $Aa$  上的  $O$  点处水平放置一个带有刻度的圆盘，即水平度盘，并使圆盘的中心位于铅垂线  $Aa$  上；再用一个既能在竖直面内转动又能绕铅垂线  $Aa$  水平转动的望远镜去照准两目标  $B$  和  $C$ ，并且将  $AB$ 、 $AC$  垂直投影到这个刻度圆盘上，从而可以截得相应的数值  $n$  和  $m$ 。如果刻度圆盘刻划的注记是按顺时针方向由  $0^\circ$  递增到  $360^\circ$ ，那么  $AB$  和  $AC$  两方向线的水平角就能计算出来，即

$$\angle bac = \beta = m - n \quad (3-1)$$

#### 2. 竖直角测量原理

在同一竖直面内，一点至观测目标的方向线与水平线间所夹的角称为竖直角，也称“高度角”或“垂直角”，通常用  $\alpha$  表示。如图 3.3 所示中的  $\alpha_1$  和  $\alpha_2$ 。竖直角是有正负意义的量，它的取值范围为  $-90^\circ \sim +90^\circ$ 。目标视线在水平面以上称为仰角，角值为正，取值范围为  $0^\circ \sim +90^\circ$ ；目标视线在水平面以下称为俯角，角值为负，取值范围为  $-90^\circ \sim 0^\circ$ 。

目标与天顶方向（即铅垂线的反方向）所成的角，称为天顶距，通常用  $Z$  表示，其取值范围为  $0^\circ \sim 180^\circ$ ，没有负值，如图 3.3 所示。天文测量中常用这种方法表示。

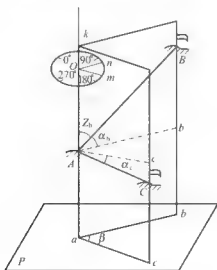


图 3.2 角度测量原理

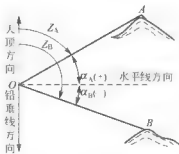
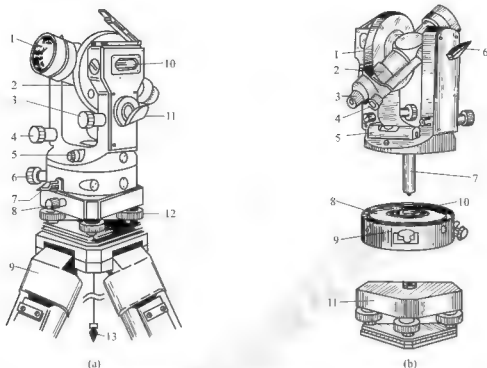


图 3.3 竖直角测量原理





1—物镜；2—竖直度盘；3—竖盘指标水准管微动螺旋；4—望远镜微动螺旋；5—望远镜微动螺旋；6—望远镜微动螺旋；7—水平制动扳手；8—底座连接螺旋；9—三脚架；10—水平度盘；11—复测器扳手；12—度盘轴套；13—基座竖盘指标水准管；14—反光镜；15—脚螺旋；16—垂球

图 3.5 DJ<sub>6</sub> 型光学经纬仪的构造

### 1) 照准部

经纬仪基座上部能绕竖轴旋转的整体，称为照准部，它包括望远镜、横轴、竖直度盘、读数显微镜、照准部水准管和竖轴等。

(1) 望远镜。用来照准目标，它固定在横轴上，绕横轴而俯仰，可利用望远镜制动螺旋和微动螺旋控制其俯仰转动。通过望远镜的调焦可以照准远近不同的目标。

(2) 横轴。是望远镜俯仰转动的旋转轴，由左右两支架支承。

(3) 竖直度盘。用光学玻璃制成，用来测量竖直角。

(4) 读数显微镜。用来读取水平度盘读数与竖直度盘的读数。

(5) 照准部水准管。用来置平仪器，使水平度盘处于水平位置。

(6) 竖轴，又称“纵轴”。竖轴插入水平度盘的轴套中，可使照准部在水平方向转动，使望远镜照准不同水平方向的目标。观测作业时要求竖轴应与过测站点的铅垂线一致，照准部的旋转保持圆滑平稳。

### 2) 水平度盘

(1) 水平度盘的组成。它是用光学玻璃制成的圆环。在度盘上按顺时针方向刻有  $0^\circ \sim 360^\circ$  的刻划，用来测量水平角。在度盘的外壳附有照准部水平制动螺旋和水平微动螺旋，它可使照准部绕竖轴作水平转动、制动和微动，主要用于瞄准目标。

(2) 水平度盘转动的控制装置。测角时水平度盘应固定不动，这样照准部转至不同的

位置,就可以在水平度盘上得到不同的读数,从而求得角值。但有时需要水平度盘和照准部一起旋转,以便设定水平度盘在某一读数上。控制水平度盘与照准部相对转动的装置有两种。

① 位置变换手轮。它有两种形式:一种是使用时拨下保险手柄,将手轮压进去并转动,水平度盘也随之转动;待转至需要位置后,将手松开,手轮推出;再拨上保险手柄,手轮就压不进去了。另一种形式如图 3.6(a)所示使用时拨开护盖,转动手轮,待水平度盘转至需要位置后,停止转动,再盖上护盖。具有以上装置的经纬仪叫做方向经纬仪。

② 复测装置。如图 3.6(b)所示当扳手拨下时,度盘与照准部扣在一起同时转动,度盘读数不变;若将扳手向上,则两者分离,照准部转动时水平度盘不动,读数随之改变。具有复测装置的经纬仪,称为复测经纬仪。

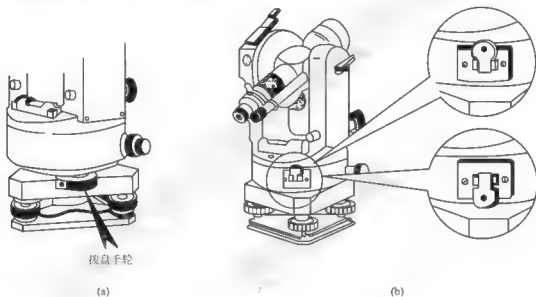


图 3.6 水平度盘转动的控制装置

### 3) 基座

照准部下面是基座,如图 3.5 所示。基座起着支承仪器上部并使仪器与三脚架连接的作用,它主要由轴座、脚螺旋和底板组成。仪器放在三脚架头上,通过中心连接螺旋,使仪器固紧在基座底板上。其中心连接螺旋是空心的,下端一般都挂有挂钩或细绳,便于悬挂垂球进行对中。基座上备有三个脚螺旋,转动脚螺旋,可使照准部水准管气泡居中,从而使水平度盘处于水平位置。照准部旋转时,基座不会转动。



#### 特别提示

(1) 测量水平角时,当望远镜瞄准不同方向的目标时,水平度盘应保持水平并且固定不动,而读数指标则随着望远镜一起转动。

(2) 在使用经纬仪时,应拧紧轴座连接螺旋,切勿松动,以免照准部与基座分离而坠落。

### 2. 望远镜的构造

望远镜由物镜、目镜、调焦透镜和十字丝分划板组成,如图 3.7 所示。物镜的作用是







腿滑动。

① 在山坡上设站时,应使脚架的两条腿在下坡,一条腿在上坡,以保障仪器稳定、安全。整平时应注意以下方面。

① 转动脚螺旋精平时不可过猛,否则气泡不易稳定。

② 应掌握气泡移动规律,即左手拇指的运动方向就是气泡的移动方向,右手则相反。

③ 当三个脚螺旋高低相差过大,出现转动不灵活时,应重新调整仪器架头水平,不可强行旋转。

① 当旋转第三个脚螺旋时,不可再转动前两个脚螺旋,反之亦然。

## 2) 照准目标

测角时的照准标志,一般是竖立于测点的标灯、测钎、用二根竹竿悬吊垂球的线或觇牌,如图 3.14 所示。

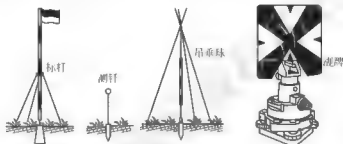


图 3.14 照准标志

照准的目的是使照准目标点的影像与十字丝交点重合。有些经纬仪没有十字丝交点,如图 3.15(a)所示,这时就用十字丝的中心部位照准目标。不同的角度测量(如水平角与竖直角)所用的十字丝是不同的,但都是用接近十字丝中心的位置照准目标。

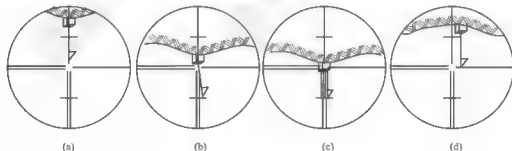


图 3.15 望远镜照准目标

在水平角测量中,应用十字丝的竖丝照准目标。当所照准的目标较小时,常用单丝重合 [图 3.15(a)]; 当目标倾斜时,应照准目标的根部以减弱照准误差的影响 [图 3.15(b)]; 若照准的目标较粗,则常用双丝对称夹住目标 [图 3.15(c)]。进行竖直角测量时,应用十字丝的横丝(中丝)切准目标的顶部或特殊部位 [图 3.15(d)],在记录时一定要注明照准位置。

照准时将望远镜对向明亮背景,转动目镜调焦螺旋,使十字丝清晰。松开照准部与望远镜的制动螺旋,转动照准部与望远镜,利用望远镜上的照门和准星对准目标,然后旋紧照准部与望远镜的制动螺旋。旋转物镜对光螺旋,进行物镜对光,使目标成像清晰,并注意消除视差(同时调节目镜对光螺旋与物镜对光螺旋)。最后转动照准部与望远镜微动螺旋,使十字丝精确照准目标。

所谓视差是指当观测者的眼睛在目镜端上下微动时,如果十字丝与物像存在相对移动

的现象,这种现象称为视差。产生视差的原因是目标成像的平面和十字丝平面不重合,如图 3.16(a)、(b)所示。如有视差则应消除。消除的方法是重新仔地进行目镜对光和物镜对光,直到十字丝和目标影像均呈像清晰,眼睛上下移动时成像稳定为止,如图 3.16(c)所示。

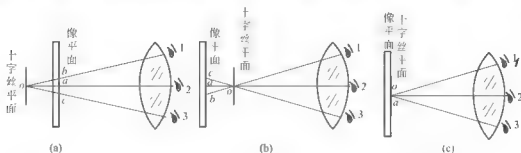


图 3.16 视差

为了减少仪器的隙动误差,使用微动螺旋精确照准目标时,一定要用旋进方向。测水平角时,照准部的旋转一定要按规定的方向旋转,以减少仪器的度盘带动误差与脚螺旋隙动差。

### 3) 配置度盘(置数)

配置度盘是按照预先给定的度盘读数去照准目标或照准目标后使度盘读数等于所需要安置的数值。它在角度测量和施工放样中经常用到。由于有不同的读数装置,所以置数的方法也不太一样。

(1) 水平度盘置数。对于装有度盘变换手轮的经纬仪,必须先照准目标,固紧水平制动螺旋;然后转动度盘变换手轮,使分划线对准分微尺上所需安置的分秒数。置完数后,关上变换手轮护盖或扳起保险手柄使之抵住手轮,以免碰动。然后松开水平制动螺旋,即可观测其他目标。

对于装有复测器和测微手轮的经纬仪,则必须先置好数再去照准目标。例如:北京光学仪器厂生产的 DJ<sub>6</sub> 型经纬仪,当被照准的目标读数为  $96^{\circ}45'20''$  时,应先转动测微轮,使单线指标对准分微尺上的  $15'20''$ ;再松开离合器和水平制动螺旋,一边转动照准部,一边观测水平度盘读数,当  $96^{\circ}30'$  的分划线转至双线指标附近时,固紧水平制动螺旋,转动微动螺旋使这条分划线准确地落在双指标正中央,然后扣紧离合器,松开水平制动螺旋,照准目标,再松开离合器。当转动仪器观测其他目标时,离合器应处于松开位置,不能再去扳动。

(2) 竖盘度盘置数。在配置度盘读数时,应先转动竖盘指标水准管微动螺旋,使竖盘指标水准管气泡居中。

对于分微尺读数的经纬仪,只需转动望远镜,使度盘读数接近所需读数时,拧紧望远镜的制动螺旋,再调节微动螺旋使度盘读数等于所需读数即可。



### 特别提示

经纬仪的使用步骤可简述为:对中、整平、瞄准和读数 4 个部分。

## 3.1.3 角度测量

### 1. 水平角测量

水平角测量最常用的方法有测回法与方向观测法,测量时无论采用哪种方法进行观

















(3) 校正。用校正针拨动水准管的校正螺丝,使气泡退回偏离量的一半,使水准管轴与水平线的夹角为 $\alpha$ ,如图 3.27(a)所示,再转动脚螺旋,使气泡居中,竖轴处于铅垂方向,如图 3.27(b)所示。此项检验校正必须反复进行,直到照准部转到任何位置气泡偏离值不大于 1 格时为止。

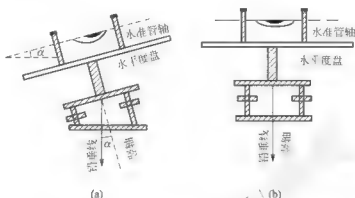


图 3.27 照准部水准管轴垂直于竖轴的校正原理

## 2) 十字丝竖丝垂直于横轴的检验校正

(1) 检校目的。在水平角测量时,保证十字丝竖丝铅直,以便精确瞄准目标。

(2) 检验方法。整平仪器后,用十字丝竖丝一端瞄准一清晰小点 A,固定照准部制动螺旋和望远镜制动螺旋,转动望远镜微动螺旋,从目镜中可以看到,目标点 A 沿竖丝慢慢移动。若 A 点不离开竖丝,始终在竖丝上移动,则表明条件满足,否则应进行校正。如图 3.28 所示点 A 移动到竖丝另一端时偏到了 A' 处。

(3) 校正。卸下目镜处分划板护盖,如图 3.29 所示校正装置,用螺丝刀松开四个校正螺丝 E,轻轻转动十字丝环,直到望远镜上下微动时, A 点始终在竖丝上移动为止。此项检校须反复进行。校正结束应及时拧紧四个校正螺丝 E,并旋上护盖。

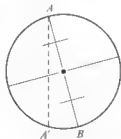


图 3.28 十字丝竖丝的检验

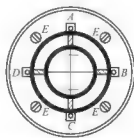


图 3.29 十字丝校正螺丝

此检校也可用悬挂垂球的方法进行。即在距离仪器十多米处悬挂一垂球,用望远镜照准之,若十字丝竖丝与垂球线重合,则表明条件满足;否则应转动十字丝环,使竖丝与垂球线重合或平行即可。

## 3) 视准轴垂直于横轴的检验校正

视准轴不垂直于横轴所偏离的角度 $\epsilon$ ,称为视准轴误差,它是由于十字丝交点的位置不正确造成的。







和微处理器通过一定的连接器构成一个组合体,如图 3.34 所示。这种仪器的优点是能由系统的现有构件组成,还可通过不同的构件进行灵活多样的组合。当个别构件损坏时,可以用其他构件代替,具有很强的灵活性。这种组合式的速测仪在我国 20 世纪 80 年代末和 90 年代,在一些测绘单位使用比较普遍,现在基本上已被淘汰。

如图 3.35 所示,整体式全站仪是在一个仪器外壳内包含有电子经纬仪、红外测距仪和电子微处理器。这种仪器的优点是电子经纬仪和红外测距仪使用共同的光学望远镜,角度测量和距离测量只需瞄准一次,测量结果能自动显示并能与外围设备双向通信,其优点是体积小、结构紧凑、操作方便、精度高。



图 3.34 组合式全站仪



图 3.35 整体式全站仪

## 2. 全站仪的功能和特性

目前使用的全站仪一般都具备如下的一些功能和特性。

### 1) 自检与改正功能

仪器误差对测角精度的影响,主要是由仪器的三轴之间关系不正确造成的。在光学经纬仪中主要是通过三轴之间关系的检验校正,来减少仪器误差对测角精度的影响。在全站仪中则主要是通过所谓“自动补偿”实现的。最新的全站仪已实现了“三轴”补偿功能(补偿器的有效工作范围一般为 $\pm 3'$ )。即全站仪中安装的补偿器,能自动检测或改正由于仪器垂直轴倾斜而引起的测角误差,通过仪器视准轴误差和横轴误差的检测结果计算出误差值,必要时由仪器内置程序对所观测的角度加以改正,从而使观测得到的结果是在正确的轴系关系条件下的观测结果。因此,仅就这点来说,全站仪工作的稳定性和精度可靠性要高于光学经纬仪。

### 2) 大容量内存

现在生产的全站仪都配置了内部存储器,而且容量越来越大,从以前只存储几百个点的坐标数据或测量数据,发展到现在储有上万个点的坐标数据或观测数据,有的全站仪内存已经达到了数十兆。

### 3) 双向传输功能

全站仪与计算机之间的通信,不仅可以将全站仪的内存中的数据文件传送到计算





例，介绍全站仪的角度测量。

### 1. 南方 NTS-352 全站仪简介

仪器的主要性能指标：

测角精度： $\pm 2''$ 。

测距精度： $\pm (3\text{mm} + 2\text{ppm} \times D)$ 。

测程：1.8km/一块棱镜，2.6km/三棱镜组。

仪器的内存空间可存储测量数据和坐标数据达3440点，若仅存放样数据可存储10000个点以上。

为了便于观测，仪器双面都有操作按键及显示屏(图3.38)。显示屏采用点阵式液晶显示(图3.39)，可显示4行，每行20个字符。通常前三行显示测量数据，最后一行是测量模式功能键，其他键见图示说明，显示符号的意义见表3-6。



图 3.38 南方 NTS-352 全站仪



图 3.39 全站仪显示器





























































































































































































































































































































































































